

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа состоит из 77 стр., в том числе 24 рисунков, 21 таблиц, 6 приложений

### **ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ, ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР, СТРУКТУРА, АРХИТЕКТУРА**

Основной целью выпускной квалификационной работы является разработка блока регистрации мощности отраженного / прошедшего СВЧ-сигнала.

Изучены и проанализированы методы и средства измерения мощности СВЧ-сигнала

Разработаны требования к системе и архитектура, которые способствуют исключению ручных действий при сборе и передачи измерительных данных

Реализован виртуальный прибор, обеспечивающий обработку измерительных данных в LabView

## Оглавление

<b>1. Введение.....</b>	<b>7</b>
1.1.    Актуальность.....	7
1.2.    Заказ от ИРЭ РАН .....	9
1.3.    Теоретическое введение .....	9
1.4.    Средства регистрации мощности СВЧ сигнала .....	11
1.5.    Постановка задач .....	13
<b>2. Описание проблем .....</b>	<b>14</b>
2.1.    Описание контекста системы.....	14
2.2.    Операционный анализ .....	16
2.3.    Заинтересованные стороны.....	24
2.4.    Выявление проблем, потребности и целей ЗС .....	25
<b>3. Описание архитектурных решений и требований к системе .....</b>	<b>27</b>
3.1.    Анализ требований ЗС.....	27
3.2.    Функциональный анализ.....	27
3.3.    Функциональные требования .....	32
3.4.    Нефункциональные требования .....	34
3.5.    Логический уровень.....	35
3.6.    Логические компоненты.....	37
3.7.    Сценарии использования.....	38
<b>4. Реализация виртуального прибора для блока регистрации в LabView .....</b>	<b>42</b>
4.1.    Описание блока М3М-18.....	42
4.2.    Система команд [13] .....	44
4.3.    Лицевая панель ВИ.....	46
4.4.    Блок-диаграмма ВИ .....	48
<b>5. Экономическая часть .....</b>	<b>53</b>
5.1.    Организация и планирование работ по теме .....	53
5.2.    Расчёт стоимости проведения работ.....	58
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>66</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>68</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>70</b>

## 1. СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

УМРС – установка магнитно-резонансного спектрометра;

СВЧ-сигнал – сверхвысокочастотный сигнал;

Блок — это функционально или логически обособленный компонент системы, который выполняет определённую задачу и взаимодействует с другими блоками [1].

S-параметры — это набор комплексных чисел, которые описывают электрическое поведение линейной сети при различных частотах. Они определяют, как энергия сигнала отражается и передаётся через сеть [2].

ЗС – заинтересованная сторона;

ID – Identifier, уникальный идентификатор;

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) — это графическая среда разработки, используемая для создания систем автоматизации измерений, управления оборудованием и анализа данных [3].

ВИ – виртуальный прибор (средство измерений) — это средство измерений, реализованное на основе универсальной ЭВМ и дополнительных программных и технических средств [4].

## **1. Введение**

### **1.1. Актуальность**

В современных лабораториях, занимающихся исследованиями в области ферримагнитных свойств материалов, специалисты сталкиваются с трудностями технического и организационного характера в процессе измерений и контроля параметров СВЧ-сигнала. Одним из существенных параметров являются мощности прошедшего и отражённого СВЧ-сигналов [5]. Существует множество средств и методов, с помощью которых достигаются наиболее точные результаты измерений данного параметра в различных условиях, которые требуют сбора данных и их обработку для дальнейшего анализа и математических вычислений.

В настоящий момент во многих научно-исследовательских центрах и лабораториях сбор измерений производится вручную или с частичной автоматизацией. Такой подход приводит к тому, что процесс проведения эксперимента, передачи и получения данных становится длительным и трудоёмким, а его производительность ограничивается. К тому же, велик риск ошибок, возникающих из-за человеческого фактора.

Таким образом, становится актуальным разработка архитектурно-проработанного блока регистрации мощности прошедшего и отражённого СВЧ-сигналов, предназначенный для автоматизации сбора измерительных данных и передачи информации для её дальнейшего анализа. В предлагаемом решении используется подход, опирающийся на модель-ориентированную системную инженерию. Описание архитектуры системы осуществляется согласно методу ARCADIA.

ARCADIA представляет собой методологию системного проектирования, направленную на формирование, обоснование и проверку архитектурных решений для сложных технических систем [6]. Данный подход базируется на принципах функционального анализа и обеспечивает согласованную работу всех заинтересованных сторон на протяжении всего жизненного цикла системы - от концептуальной разработки до этапов интеграции и тестирования.

Ключевое преимущество метода заключается в возможности уже на начальных стадиях проектирования выстраивать архитектуру, максимально соответствующую установленным требованиям. ARCADIA создает основу для непрерывной верификации и валидации проектных решений, что позволяет минимизировать риски несоответствия конечного продукта ожиданиям заказчика. Методология способствует организации эффективного взаимодействия между различными специалистами, участвующими в создании системы, обеспечивая целостность и непротиворечивость архитектурных решений на всех этапах разработки. Описание архитектуры систему осуществляется с использованием среды моделирования Capella.

Преимущества данного инструментального средства заключается в том, что оно позволяет описать архитектуру системы на четырёх уровнях представления [6]: операционный, функциональный, логический и физический уровни. При этом, целостность решений по описанию прослеживаются на всех этапах проектирования. Инструментарий Capella позволяет моделировать диаграммы всех уровней представления одновременно содержательными, компактными и понятными.

В связи с этим, проблема заключается не только в низкой производительности ручного сбора и обработки измерительных данных, но и в отсутствии архитектурных решений, позволяющих без длительной адаптации и существенных затрат интегрировать в лабораторных условиях измерительные приборы различной направленности. Разработка автоматизированного блока регистрации является актуальной задачей в условиях роста необходимости автоматизации измерительных и вычислительных процессов в различных областях, в том числе в научной сфере и в областях измерений ферромагнитных свойств материалов. Решение этой задачи, представленное в данной работе, иллюстрирует возможности системной инженерии в прикладных измерительных проектах малой и средней сложности.

## **1.2. Заказ от ИРЭ РАН**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ РАН) обратилось с заказом на разработку блока регистрации параметров прошедшего-отражённого СВЧ-сигнала в магнитно-резонансном спектрометре.

### **Основание для выполнения работы**

- Государственное задание Минобрнауки России в рамках выполнения фундаментальных и прикладных исследований.
- План научно-исследовательских работ ИРЭ РАН.

### **Были предъявлены следующие требования:**

Технические:

- Диапазон частот: 10...18000 МГц
- Диапазон измерений мощности - от 1 нВт до 10 мВт
- Точность измерения мощности: не хуже  $\pm 1$  дБ.

Конструктивные требования:

- Габариты: не более 200 x 50 x 50.
- Электропитание и подключение: интерфейс UBS

Программное обеспечение:

- Интерфейс управления и сбора данных в LabVIEW

## **1.3. Теоретическое введение**

### **Установка магнитно-резонансного спектрометра**

Магнитно-резонансные спектрометры работают на основе явления резонансного поглощения электромагнитного излучения неспаренными электронами в магнитном поле [5].

Основные компоненты установки:

- Сильный магнит, создающий постоянное магнитное поле, необходимое для возникновения резонанса;

- Радиочастотный генератор, генерирующий электромагнитное излучение, которое воздействует на образец;
- Измеритель мощности, фиксирующий сигнал резонансного поглощения/излучения.
- Компьютерная система обработки данных, преобразующая аналоговый сигнал в необходимый вид.

Принцип работы заключается упрощённо в следующем:

- В магнитном поле электронные спины расщепляются;
- При облучении микроволнами происходит резонансное поглощение;
- Детектор регистрирует сигнал, зависящий от окружения электрона.

### **Прошедший и отражённый СВЧ сигнал**

В экспериментах с СВЧ-излучением сигнал может взаимодействовать с образцом двумя основными способами [5]:

- Прошедший сигнал (часть излучения, прошедшая через образец);
- Отражённый сигнал (часть излучения, отражённая от образца или резонатора).

Физическая природа сигналов:

Прошедший сигнал проходит сквозь образец, взаимодействуя с его структурой. Сигнал изменяется из-за вследствие свойств поглощения материалом СВЧ-сигнала, а также диэлектрических свойств объекта. Уменьшение мощности сигнала указывает на резонансное поглощение.

Отражённый сигнал возвращается от границы образца или резонатора и зависит от коэффициента отражения и резонансных явлений. Изменение отражённого сигнала может указывать на резонансные условия.

При ЭПР-спектроскопии анализируются следующие характеристики СВЧ-сигналов [5]:

Для прошедшего сигнала:

- Амплитуда (мощность) сигнала
- Фазовый сдвиг

- Коэффициент передачи
- Ширина линии поглощения

Для отражённого сигнала:

- Амплитуда отражённой волны
- Коэффициент отражения ( $S_{11}$ )
- Фаза отражённого сигнала
- Добротность резонатора (Q-фактор)

Вследствие того, что основную информацию несёт мощность данных сигналов, сконцентрируемся на её измерителях.

#### **1.4. Средства регистрации мощности СВЧ сигнала**

Существуют различные измерители мощности конкретной направленности [7]. Проведём сравнительный анализ характеристик, чтобы определить оптимальный вариант:

- Измерение мощности СВЧ-сигнала через нагрев резистивного элемента — классический подход, используемый в калориметрических и болометрических методах.
- Измерение мощности СВЧ-сигнала с помощью выпрямляющих диодов (диодных детекторов) – один из самых распространённых методов благодаря своей простоте и высокой скорости отклика.
- Измерение мощности СВЧ-сигнала с помощью анализатора векторных цепей позволяет оценивать s-параметры СВЧ-сигнала для получения полной картины о происходящих процессах.

Методы, используемые в данных измерителях и их технические характеристики имеют свои преимущества и недостатки, обусловленные различной постановкой задач (Таблица 1).

Таблица 1. Средства регистрации мощности СВЧ-сигнала

Средство измерения мощности	Сведения
Болометры, термисторы	Диапазон измеряемой мощности от 1 мВт до 100 Вт. Не зависит от частоты СВЧ-сигнала Обладает хорошей точностью для широкого диапазона частот Не относится к быстрым измерениям Не подходит мощностей менее мВт
Диодный детектор	Диапазон измеряемой мощности от 1 нВт до 100 мВт. Позволяет мгновенно проводить измерения Широкая полоса частот (до 50 ГГц) Перегревается при длительных измерениях большой мощности
Цифровой осциллограф	Диапазон измеряемой мощности от 1 мкВт до 1 Вт Требует калибровки для различных частот Необходимы высокоскоростные АЦП и быстродействующая обработка сигналов Визуализация измерений в реальном времени
Векторные анализаторы цепей	Универсальность за счёт измерения S-параметров Высокая стоимость оборудования (от 15 млн. руб.)

Аналоги измерителя мощности СВЧ сигнала (Таблица 2):

- Системы спектровых анализаторов - например, Agilent (Keysight) и Tektronix предлагают спектровые анализаторы, которые могут измерять мощность СВЧ сигналов в широком диапазоне частот;
- Промышленные измерители мощности - такие как Fluke;
- Специальные приборы от производителей СВЧ-технологий - такие как Anritsu или Rhode & Schwarz могут предложить целый ряд решений для измерения мощности высокочастотных сигналов;
- Диодный коаксиальный датчик мощности Boonton 51075A.

Таблица 2. Таблица сравнения характеристик

	M3M-18	Boonton 51075A	Schwarz NRP8S
Тип датчика	Диодный коаксиальный датчик мощности	Диодный коаксиальный датчик мощности	Трехканальный диодный датчик мощности
Диапазон рабочих частот, МГц	10 - 18000	0.5 - 18000	10 - 8000

	М3М-18	Boonton 51075А	Schwarz NRP8S
Диапазон измерений мощности, дБм	от -40 до +10	От -70 до +20	От -70 до +23
Цена, руб.	60 000 – 70 000	100000 – 120000	200 000 – 300 000

### 1.5. Постановка задач

Таким образом, основываясь на актуальности разработки, альтернативах решений и предъявленном заказе от ИРЭ РАН, выявим следующие задачи:

- Проанализировать методы и средства регистрации мощности прошедшего / отраженного СВЧ-сигнала в УМРС;
- Разработать и описать архитектуру разрабатываемой системы на операционном, системном и логическом уровнях;
- Сформулировать требования к разрабатываемой системе;
- Реализовать виртуальный прибор для автоматизации сбора и обработки измерительных данных.

## **2. Описание проблем**

### **2.1. Описание контекста системы**

Для определения проблемы реализуемого в настоящее время процесса и выявления преимуществ предлагаемого решения опишем контекст системы в виде «как она есть» и «как должна быть» [8].

Система представляет из себя измерительный прибор, определяющий используемые в вычислениях величины и формирующий численное выражение измеряемого параметра, управляемый с помощью лицевой панели на самом приборе или с использованием программного обеспечения с интерфейсом пользователя. Управление установкой, к которой подключается наша система, осуществляется оператором, который обеспечивает передачу измерительных данных для из анализа. Измерительные данные используются для определения ферромагнитных свойств материала иным оператором.

Установка располагается в лаборатории научно-исследовательского центра, помещение которой приспособлено к проведению эксперимента и предполагает отсутствие любого воздействия окружающей среды. Установка содержит различные генераторы, соединительные модули, чипы и измерительный электрический прибор, а потому требует обеспечение источником энергии. Сам эксперимент предполагает воздействие электромагнитным полем и СВЧ-сигналом на исследуемый объект.

Контекст системы «как есть» (Рисунок 1) предполагает сбор и передачу данных ручными или частично автоматизированными действиями. Процессы, вызывающие проблему, отмечены красным цветом.

Контекст системы «как должно быть» (Рисунок 2) предполагает взаимодействие операторов с системой с помощью интерфейса пользователя ПО, а также передачу измерительных данных исключая ручные действия. Процессы, решающие проблему, отмечены зелёным цветом.

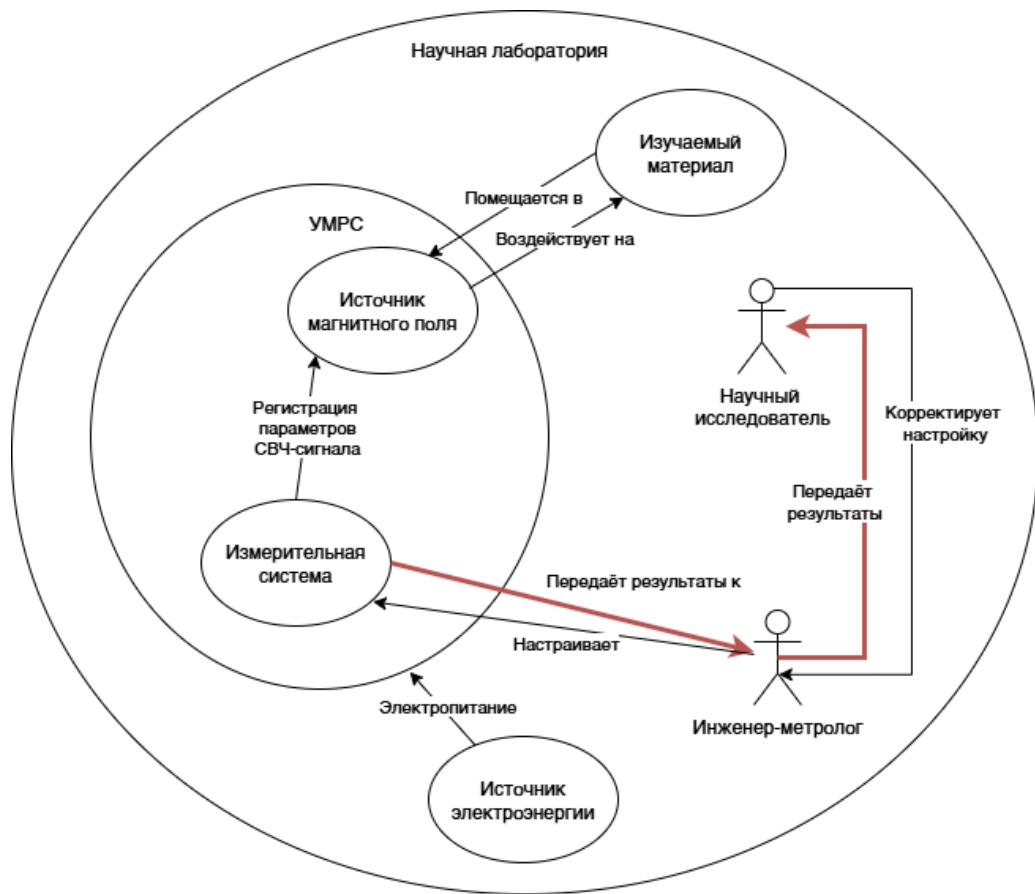


Рисунок 1. Системный контекст «Как есть»

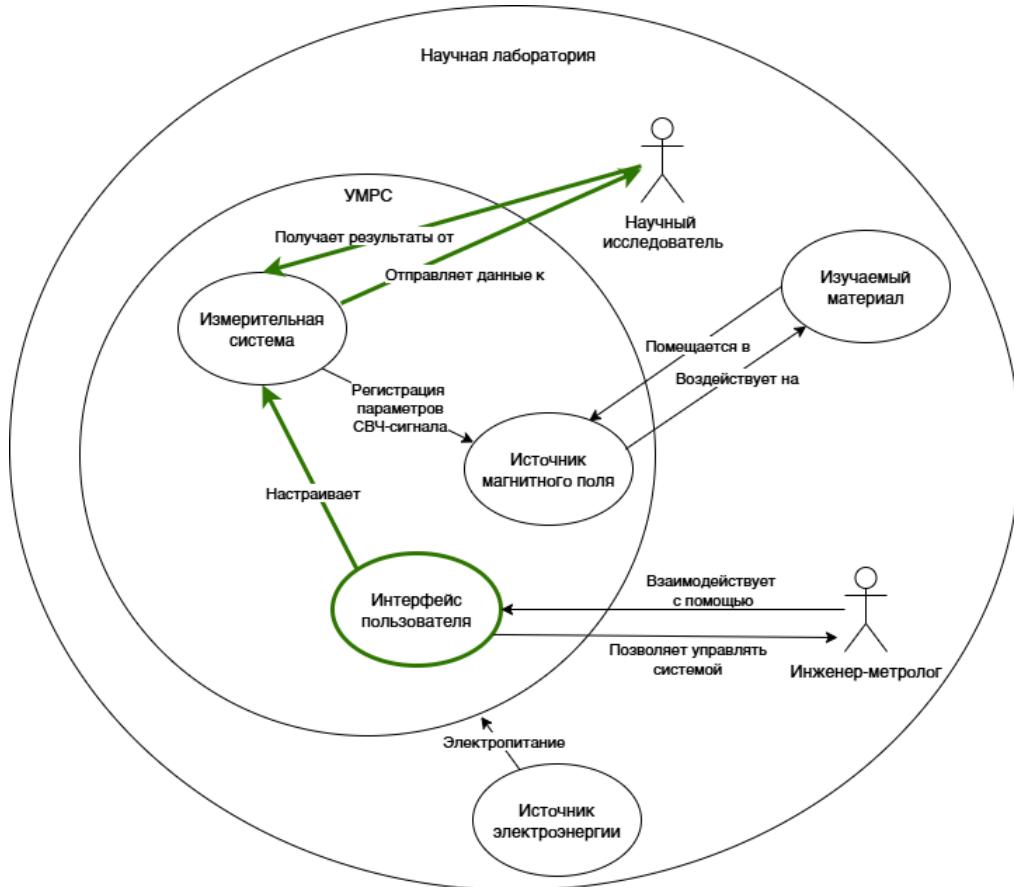


Рисунок 2. Системный контекст «Как должно быть»

## **2.2. Операционный анализ**

Проектирование системной архитектуры на данном уровне направлено на формализацию пользовательских требований, определяемых заказчиком. Выходными артефактами этого уровня проектирования являются диаграммы, отображающие субъектов деятельности, взаимодействующих с системой, процессы, выполняемые этими субъектами, а также взаимосвязи между ними. При этом под субъектами понимаются любые акторы (человеческие или автоматизированные), осуществляющие взаимодействие с проектируемой системой [9].

Согласно методологии ARCADIA, анализ применения (Operational Analysis) представляет собой начальный этап проектирования архитектуры. Его ключевая задача — идентификация потребностей пользователей и их целей для последующего согласования нефункциональных ограничений, системных требований и функциональных возможностей системы. На данном уровне формируется не модель системы, а модель деятельности пользователей, содержащая сценарии взаимодействия, роли участников и виды деятельности. При этом сама система не рассматривается как объект моделирования [9].

Критически важным при выполнении анализа применения является тесное взаимодействие с заказчиком и конечными пользователями для изучения их процессов, акцент на пользовательские потребности без привязки к конкретной системе и отсутствие искусственных ограничений на возможные способы удовлетворения требований. Таким образом, данный этап позволяет сформировать независимую от реализации модель, которая служит основой для последующих уровней проектирования.

Метод ARCADIA предлагает следующие ключевые элементы моделирования на уровне анализа применения (Operational Analysis) [10]:

- Возможности применения (Operational Capabilities) –  
высокоуровневое описание функциональных целей, достижаемых с помощью проектируемой системы;

- Сущности применения (Operational Entities) – внешние объекты реального мира, взаимодействующие с системой;
- Субъекты применения (Operational Actors) – частный случай сущности, представляющий неделимый элемент взаимодействия.
- Деятельность по применению (Operational Activity) – Отдельный процесс или операция, выполняемая для достижения цели с участием системы.
- Взаимодействие во время применения (Interaction) – обмен данными или сигналами между деятельностями. Описывает потоки информации и их направленность.

Данные элементы формируют концептуальную модель, фокусирующуюся на пользовательских процессах, а не на внутренней структуре системы. Это позволяет четко определить границы взаимодействия и функциональные ожидания до перехода к проектированию архитектуры.

Выявим сущности применения, взаимодействующие с системой:

- Научная лаборатория, в которой проводятся исследования с помощью УПРС, и трудоустроены субъекты применения, которые будут выявлены далее;
- Генератор магнитного поля, обеспечивающий условия магнитного поля для УПРС и таким образом необходимый для проведения исследований.

Среди которых, в частности, выявляются следующие субъекты применения:

- Инженер-метролог (оператор, взаимодействующий с УМРС напрямую);
- Научный исследователь (оператор, взаимодействующий с измерительными данными);
- Пользователь ФМ свойствами материалов (пользователь продуктом системы).

Данные субъекты непосредственно участвуют в применении системы или использовании результатов применения. Отметим, что субъекты «инженер-метролог» и «научный исследователь» трудоустроены в научной лаборатории, а потому далее при моделировании диаграммы возможностей разместим их «внутри» сущности «научная лаборатория».

Результаты представлены на диаграмме операционных сущностей (Рисунок 3).

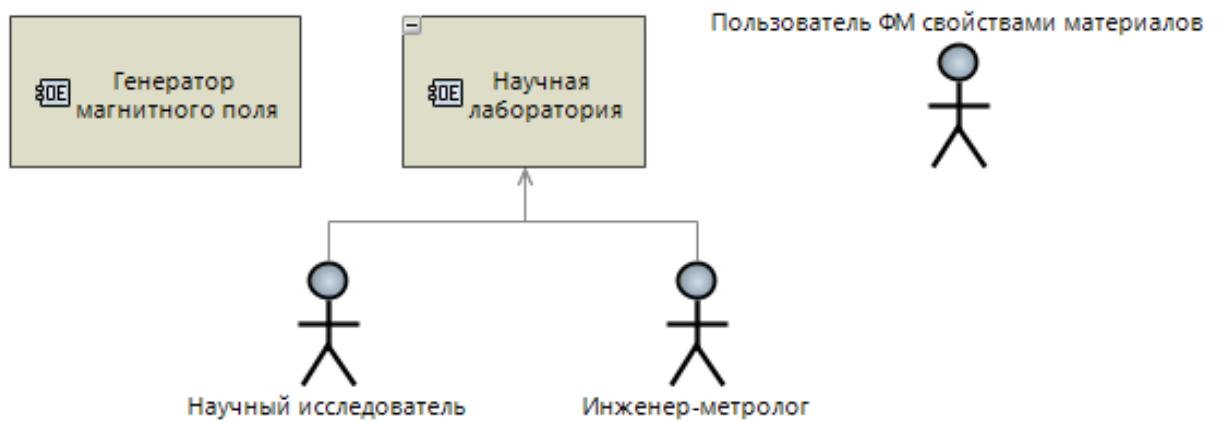


Рисунок 3. Диаграмма операционных сущностей

Далее выявим возможности применения системы:

- «Проведение эксперимента» (Деятельность, результатом которой являются измерительные данные и без которой их сбор невозможен);
- «Сбор измерений мощности сигнала» (Деятельность, результатом которой является некоторый объём обработанных измерительных данных, которые необходимо в дальнейшем проанализировать);
- «Определение и использование ФМ свойств материалов» (Целевая деятельность научной лаборатории в рамках исследований ФМ свойств материалов, а также конечный результат применения системы).

Рассмотрим каждую операционную возможность подробнее.

Для операционной возможности «Проведение эксперимента» выделим следующие деятельности по применению:

- Подготовка оборудования к работе (Взаимодействие со следующим элементом – передача статуса работоспособности оборудования);

- Определение требуемых параметров для проведения эксперимента (Взаимодействие со следующим элементом – передача требуемых параметров);
- Настройка необходимых параметров (Взаимодействие с элементом «проведение эксперимента» – установка необходимых параметров для проведения эксперимента);
- Генерация магнитного поля (Взаимодействие с элементом «проведение эксперимента» – статус воздействия магнитного поля на материал);
- Проведение эксперимента (Конечная деятельность в рамках возможности «Проведение эксперимента»).

Результат представлен на диаграмме операционных взаимодействий (Рисунок 4).

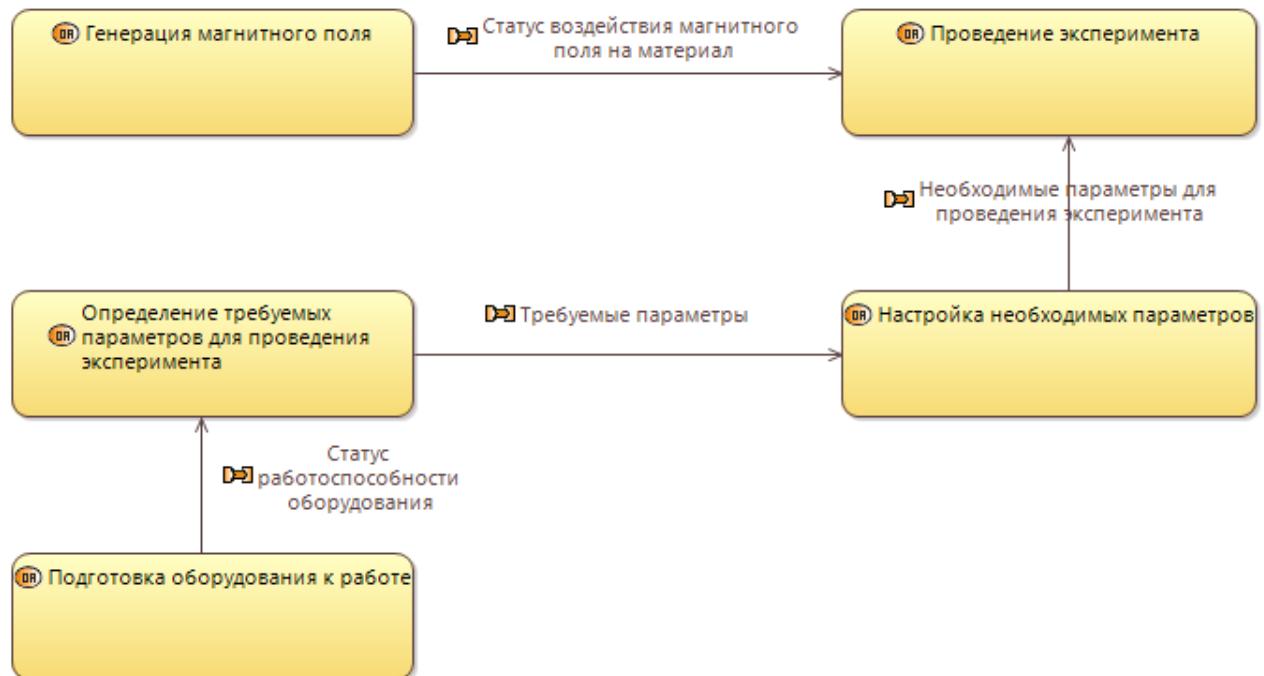


Рисунок 4. Диаграмма операционных взаимодействий для возможности «Проведение эксперимента»

Для операционной возможности «Сбор измерений мощности сигнала» выделим следующие деятельности по применению:

- Проведение эксперимента (Взаимодействие со следующим элементом – передача статуса проведения эксперимента);

- Сбор измерений (Конечная деятельность в рамках возможности «Сбор измерений мощности сигнала»).

Результат представлен на диаграмме операционных взаимодействий (Рисунок 5).

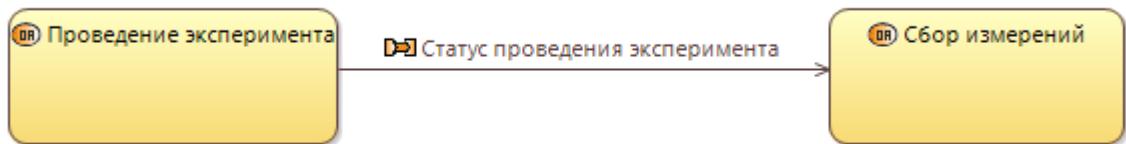


Рисунок 5. Диаграмма операционных взаимодействий для возможности «Сбор измерений мощности сигнала»

Для заключительной операционной возможности «Определение и использование ФМ свойств материалов» выделим следующие деятельности по применению:

- Сбор измерений (Взаимодействие со следующим элементом – Передача измерений);
- Анализ полученных данных (Взаимодействие со следующим элементом – выявление ФМ свойства исследуемого материала);
- Определение ФМ свойств материалов (Взаимодействие со следующим элементом – обновление ФМ свойств материалов)
- Использование ФМ свойств материалов (Конечная деятельность в рамках возможности «Определение и использование ФМ свойств материалов»).

Результат представлен на диаграмме операционных взаимодействий (Рисунок 6).

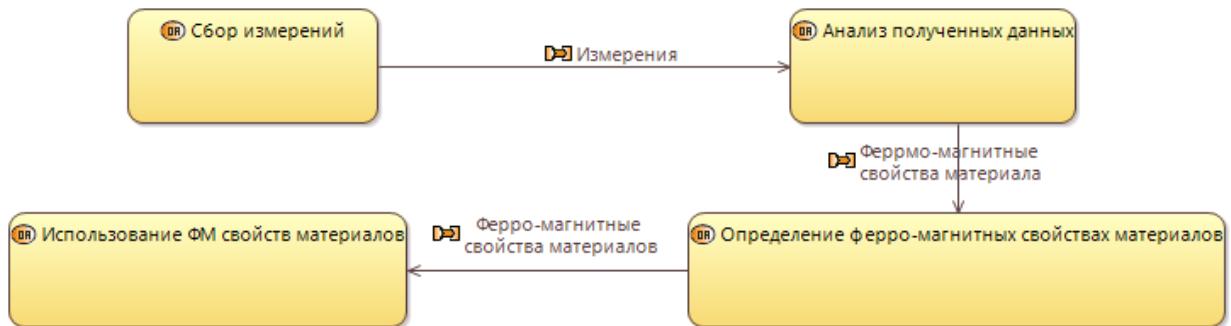


Рисунок 6. Диаграмма операционных взаимодействий для возможности «Определение и использование ФМ свойств материалов»

Далее, объединим операционные взаимодействия в одну диаграмму (Рисунок 7):



Рисунок 7. Объединённая диаграмма операционных взаимодействий

Теперь представим все выявленные сущности, субъекты и возможности на диаграмме операционных возможностей (Рисунок 8):

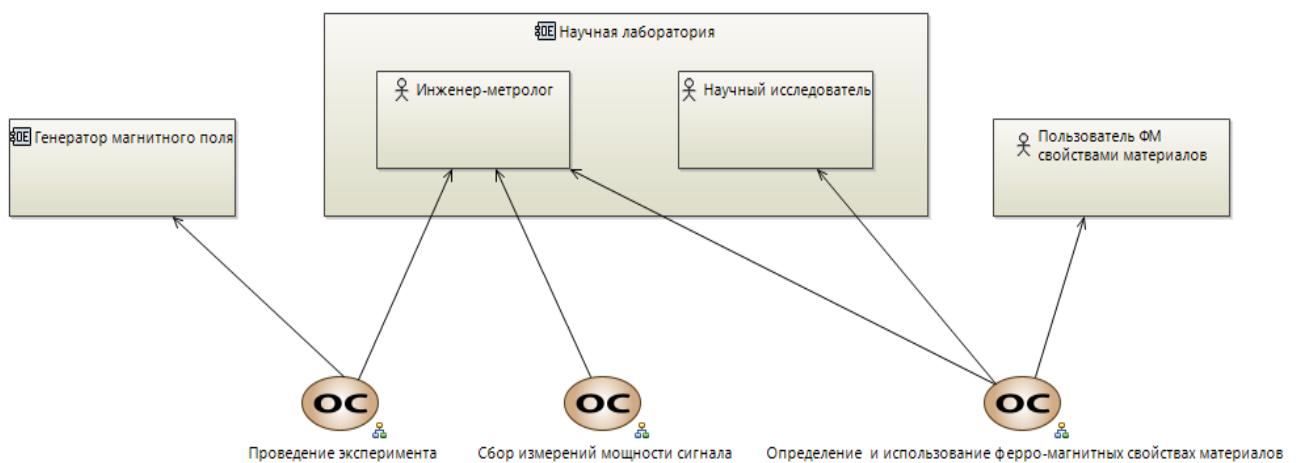


Рисунок 8. Диаграмма операционных возможностей

Для завершение операционного анализа необходимо распределить деятельность между субъектами и объектами операций, что представлено в виде операционной модели (Рисунок 9). Диаграмма операционной модели является ключевой диаграммой операционного уровня и помогает осуществить переход на функциональный уровень.

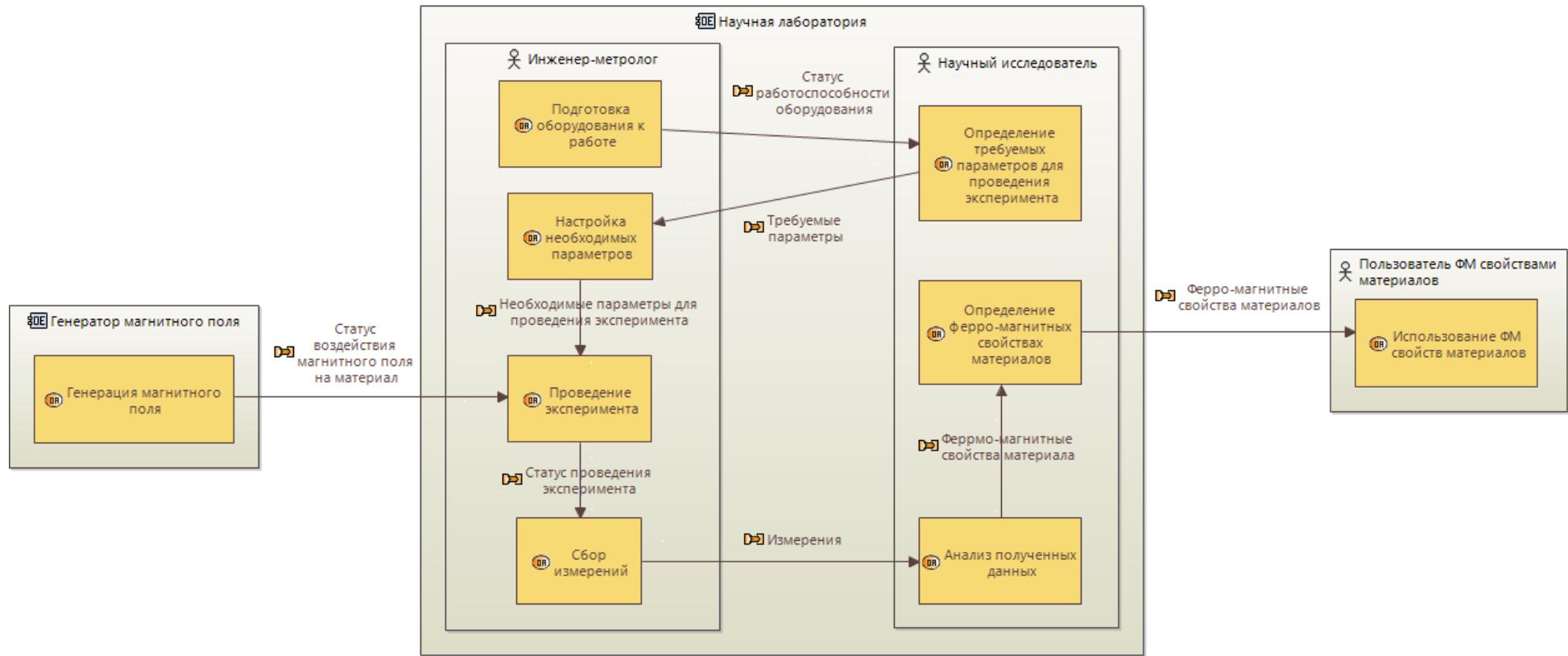


Рисунок 9. Диаграмма операционной модели

### **2.3. Заинтересованные стороны**

Проведя операционный анализ, выявим следующие заинтересованные стороны [11]:

St. 1: Инженер-метролог

St. 2: Научный исследователь

St. 3: Заведующий научно-исследовательским центром

St. 4: Пользователь ФМ свойствами

Было решено включить также в список ЗС заведующего научно-исследовательским центром, поскольку он является прямым заказчиком в лице представителя ИРЭ им. Котельникова.

Для того, чтобы определить проблемы, потребности и цели ЗС, опишем их пользовательские истории в форме «Как ЗС, я хочу ..., чтобы ...». Результаты представлены в таблице (Таблица 3).

Таблица 3. Пользовательские истории ЗС

St. ID	Пользовательская история
St. 1	Как инженер-метролог, я хочу проводить эксперимент, чтобы измерять параметры СВЧ-сигнала;
St. 1	Как инженер-метролог, я хочу ускорить сбор измерительных данных, чтобы сократить затрачиваемое на данный процесс время;
St. 1	Как инженер-метролог, я хочу уменьшить количество ручных действий, затрачиваемых на сбор измерительных данных, чтобы повысить их точность;
St. 2	Как научный исследователь, я хочу получать измерительные данные в процессе их сбора, чтобы иметь возможность анализировать их одновременно с процессом измерения;
St. 2	Как научный исследователь, я хочу получать цифровой журнал с записанными измерениями, чтобы просматривать архивированные данные;
St. 2	Как научный исследователь, я хочу получать графическое отображение записанных данных, чтобы качественно анализировать результаты;
St. 3	Как заведующий научно-исследовательского центра, я хочу использовать измерительный прибор, соответствующий определённым в заказе техническим требованиям, чтобы расширить возможности исследовательской лаборатории;

St. ID	Пользовательская история
St. 4	Как пользователь ФМ свойствами материалов я хочу получать наиболее точные данные ФМ свойств, чтобы иметь возможность выбрать наилучший материал для своих целей.

Теперь можно перейти к определению проблем, потребностей и целей ЗС.

#### 2.4. Выявление проблем, потребности и целей ЗС

Следующим шагом является выявление проблем, потребностей и целей ЗС. Опираясь на потребности ЗС мы можем сформулировать требования этих лиц к системе [11]. Представим результаты в таблице, где Pr. (problem) – проблема, StN. (stakeholder need) – потребность, G. (goal) – цель (Таблица 4):

Таблица 4. Проблемы, потребности и цели ЗС

St ID	Проблема	Потребность	Цель
St.1	Pr. 1: Затруднение при оперативном сборе измерительных данных	StN. 1: Повышение скорости сбора измерений	StG 1: Сокращение времени сбора измерений
St.2	Pr. 2: Затруднение при оперативном получении измерительных данных	StN 2: Получение измерительных данных одновременно с процессом их сбора	StG. 2: Сокращение времени анализа измерительных данных
St.2	Pr. 3: Недостаточная аналитика измерительных данных	StN. 3: Получение измерительных данных в виде графика	StG 3: Упрощение аналитики измерительных данных
St.2	Pr. 4: Отсутствие архивирования данных	StN. 4: Получение цифрового журнала записанных измерений	StG. 4: Архивация измерительных данных
St.3	Pr. 5: Отсутствие измерительного оборудования, соответствующего техническим требованиям для проведения исследований	StN. 5: Использование измерительного прибора, соответствующего предъявленным техническим требованиям	StG 5: Расширение возможностей исследовательской лаборатории
St.4	Pr. 6: Возможность несоответствия определённых ФМ	StN. 6: Получение достоверных данных о	StG 6: Повышение точности данных о

St ID	Проблема	Потребность	Цель
	свойств выбора материала действительности	ФМ свойствах материала	ФМ свойствах материалов

Следующим шагом в процессе разработки системы является формализация требований, которые будут определять её функциональные и нефункциональные характеристики. Этот этап выполняется на основе ранее выявленных и проанализированных потребностей заинтересованных сторон.

Требования делятся на две основные категории [11]:

- Функциональные требования (Functional Requirements, FR), которые определяют, что система должна делать, её основные возможности и реакции на входные данные.
- Нефункциональные требования (Non-Functional Requirements, NFR), которые определяют, как система должна выполнять свои функции.

Для перехода к этому этапу необходимо разработать архитектуру системы на уровне системного анализа.

### **3. Описание архитектурных решений и требований к системе**

#### **3.1. Анализ требований ЗС**

Представим потребности ЗС в виде таблицы требований (Таблица 5), где STR (Stakeholder requirement) – требование ЗС, а столбец «Трассировка» отображает связь предъявляемых требований к системе с потребностями ЗС.

Таблица 5. Требования

STR №	Требование заинтересованной стороны к системе	Трассировка
STR.01	Инженеру-метрологу необходимо повысить скорость сбора измерений	StN. 1
STR.02	Научному исследователю необходимо получать измерительные данные одновременно с процессом их сбора	StN. 2
STR.03	Научному исследователю необходимо получать обработанные измерительные данные в виде графика	StN. 3
STR.04	Научному исследователю необходимо получать обработанные данные в виде цифрового журнала	StN. 4
STR.05	Заведующему научно-исследовательским центром необходимо использовать измерительного прибора, соответствующего предъявленным техническим требованиям	StN. 5
STR.06	Пользователю ФМ свойствами необходимо получать достоверные данные о ФМ свойствах материалов	StN. 6

#### **3.2. Функциональный анализ**

Проектирование системной архитектуры на данном уровне решает ключевую задачу — определение роли системы в удовлетворении пользовательских потребностей, выявленных на этапе анализа применения или в требованиях заказчика [9].

Основным результатом данного этапа является формализация функциональных ожиданий к системе, выражаемая с помощью функциональных потребностей, описания сервисов и операций, которые система должна предоставлять, привязку функциональности к пользовательским сценариям и реализациям возможностей, с помощью распределения функций на функции, ориентированные на прямое

взаимодействие с пользователями и функции, обеспечивающие интеграцию с внешними системами. Также для достижения результата необходим анализ взаимодействий, который заключается в выявлении потоков данных и потоков управления между системой и окружением, а также в фиксации нефункциональных ограничений, влияющих на реализацию функций.

Ключевые особенности подхода [9]:

- Акцент на роли системы в пользовательских процессах
- Четкое разделение пользовательских и системных функций
- Учет ограничений реализации на раннем этапе проектирования

Данный уровень проектирования формирует функциональный каркас системы, который служит основой для последующей детализации архитектурных решений.

На уровне системного анализа операционные деятельности формулируются в виде функций:

- Функция «Подготовка оборудования к работе»;
- Функция «Определение требуемых параметров для проведения эксперимента»;
- Функция «Настройка необходимых параметров»;
- Функция «Проведение эксперимента»;
- Функция «Генерация магнитного поля»;
- Функция «Сбор измерений»;
- Функция «Анализ полученных данных»;
- Функция «Определение ферро-магнитных свойствах материалов»;
- Функция «Использование ФМ свойств материалов».

Функциональные потоки данных относятся ко всем существующим между функциями зависимостям. Функциональная цепь представляет один путь в глобальном потоке данных. Представим её, разделив на поток «подготовки проведения эксперимента» и поток «сбора и анализа данных» на диаграмме в Capella (Рисунок 10):

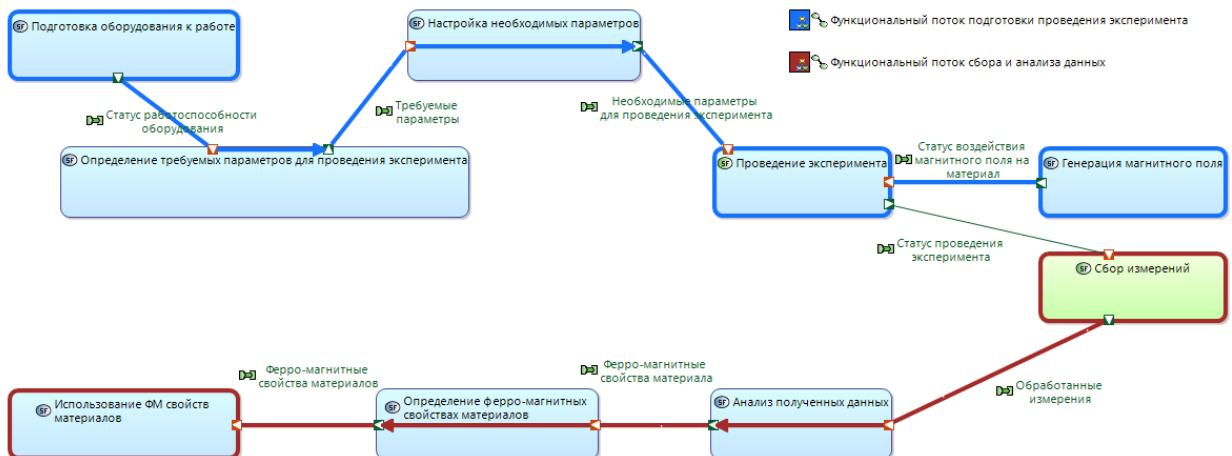


Рисунок 10. Диаграмма функциональных потоков «подготовки проведения эксперимента» и «сбора и анализа данных»

Для моделирования на данном уровне необходимо декомпозировать некоторые функции, в реализации которых участвует система. Рассмотрим системную возможность «Проведение эксперимента». К ней относятся функции:

- Генерация магнитного поля (Передаёт статус воздействия магнитного поля на материал);
- Настройка необходимых параметров (Передаёт необходимые для проведения эксперимента параметры);
- Проведение эксперимента (Передаёт статус проведения эксперимента для начала процесса сбора измерений);
- Сбор измерений.

В системной возможности «Проведение эксперимента» наша система участия не принимает, потому как все относящиеся к ней функции выполняются операторами или другими сущностями, как например функция «Генерация магнитного поля» выполняется «Генератором магнитного поля». Однако для уточнения на уровне функционального анализа смысла функции «Проведение эксперимента» декомпозируем её и опишем следующими функциями:

- Размещение материала (Передаёт статус о нахождении материала в магнитном поле);

- Воздействие на материал магнитным полем (Ключевая функция, которая позволяет проводить эксперимент и, следовательно, проводить измерения).

Результаты декомпозиции в виде диаграммы в Capella (Рисунок 11):

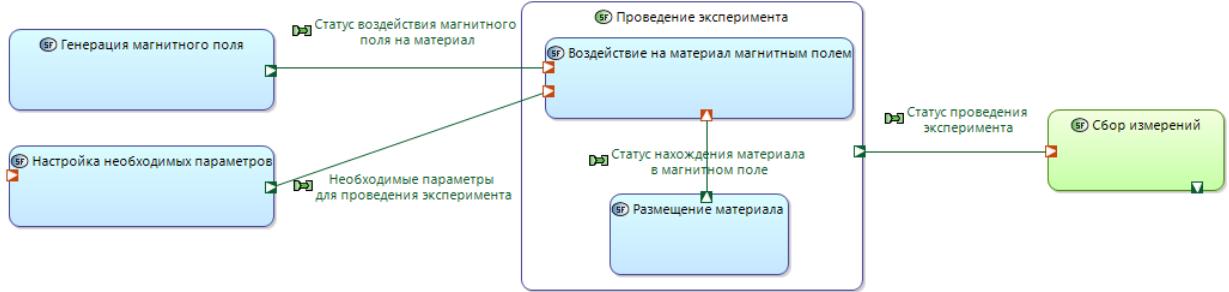


Рисунок 11. Декомпозиция функций системной возможности «Проведение эксперимента»

Следующей рассматриваемая системная возможность – «Сбор измерений мощности сигнала». Здесь система принимает значительное участие. К ней относятся такие функции, как:

- Проведение эксперимента (Передаёт статус проведения эксперимента, чтобы начать процесс сбора измерений);
- Сбор измерений (Передаёт далее обработанные измерения для их анализа);
- Анализ полученных данных;

Ключевая функция – сбор измерений, декомпозирируем её:

- Получение измерений (Функция, предполагающая начало процесса сбора измерений путём передачи запроса на измерение мощности);
- Определение числового результата мощности (Функция, предполагающая проведение измерений мощности, а также передающая запрос на их запись в массив);
- Запись данных в массив измерений (Функция, предполагающая первичную обработку измерений – архивацию в цифровой массив, передающая запрос на визуализацию измерений);
- Визуализация массива измерений (Функция, предполагающая вторичную обработку измерений – визуализацию массива записанных

измерительных данных для их дальнейшего анализа, конечная функция в рамках сбора измерений, передающая далее обработанные измерения).

Результаты декомпозиции в виде диаграммы в Capella (Рисунок 12):

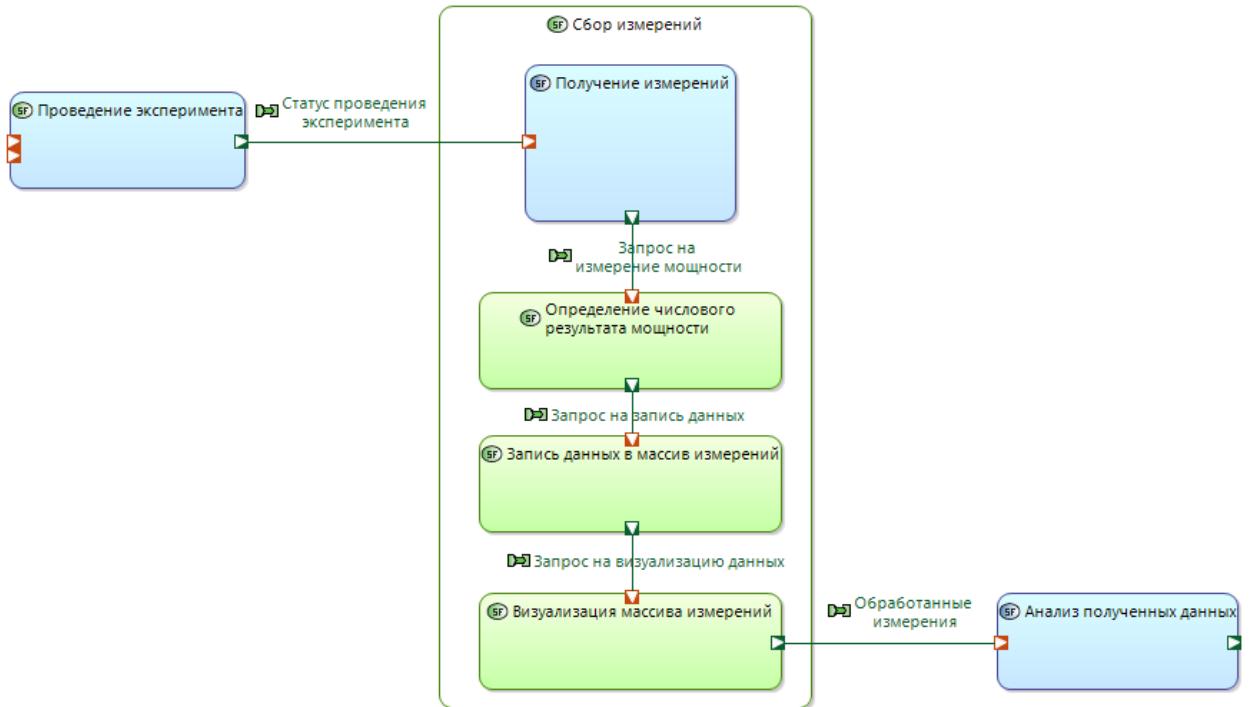


Рисунок 12. Декомпозиция функций системной возможности «Сбор измерений»

Системная возможность «Определение ферро-магнитных свойствах материалов» не нуждается в декомпозиции, потому как система не участвует в её реализации. Диаграмма системной возможности в Capella (Рисунок 13):

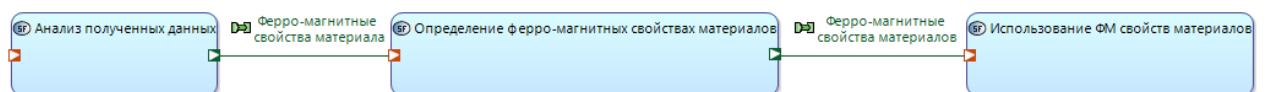


Рисунок 13. Диаграмма системной возможности «Определение ферро-магнитных свойствах материалов»

Далее необходимо определить функции, которые будут реализовываться системой. В рамках функции «Сбор измерений» подачу команды будет выполнять оператор – инженер-метролог, а система – реализовывать первичную и вторичную обработку данных. Таким образом, к реализации системой будут отнесены следующие функции:

- Определение числового результата мощности;
- Запись данных в массив измерений;

- Визуализация массива измерений.

Для завершения описания архитектуры на уровне системного анализа распределим функции среди сущностей и отобразим структуру на диаграмме функциональной модели в Capella:

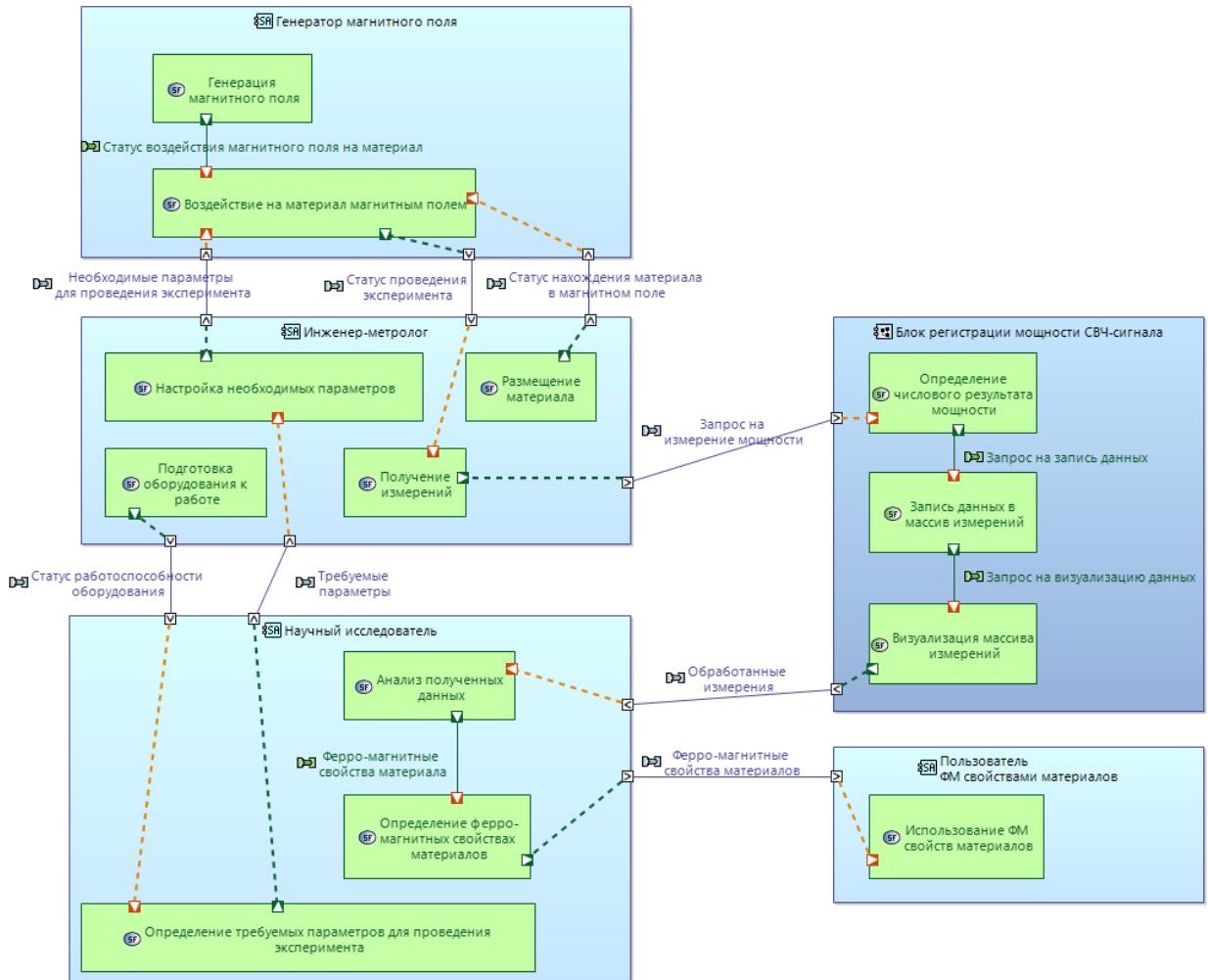


Рисунок 14. Функциональная модель системы

Выявив функции системы, можно приступать к их анализу и разработке функциональных и нефункциональных требований.

### 3.3. Функциональные требования

Представим функции системы в виде таблицы с их идентификацией, названием и трассировкой на требования ЗС к системе (Таблица 6) [11]:

Таблица 6. Функции системы

SF №	Функция системы	Трассировка
SF.01	Определение числового результата мощности	STR. 01, STR. 02, STR. 05, STR. 06

SF №	Функция системы	Трассировка
SF.02	Запись данных в массив измерений	STR. 03, STR. 04
SF.03	Визуализация массива измерений	STR. 03, STR. 04

Функция «Определение числового результата мощности» основывается на требованиях инженера-метролога, заведующего научно-исследовательским центром, а также пользователя ФМ свойствами материалов.

Функции «Запись данных в массив измерений» и «Визуализация массива измерений» опираются на требования научного-исследователя.

Сформулируем функциональные требования в виде таблицы с их идентификацией, описанием и трассировкой с функциями системы (Таблица 7):

Таблица 7. Функциональные требования

FR №	Функциональные требования	Трассировка
FR.01	Система должна обеспечивать считывание данных с измерительного прибора.	SF. 01
FR.02	Система должна обеспечивать измерение мощности отраженного/прошедшего СВЧ-сигнала в диапазоне от -30 дБм (1 нВт) до +10 дБм (10 мВт)	SF. 01
FR.03	При выходе значения за допустимый диапазон система должна фиксировать ошибку	SF. 01
FR.04	Система должна обеспечивать измерение мощности отраженного/прошедшего СВЧ-сигнала с точностью не хуже 20% ( $\pm 0,8$ дБ)	SF. 01
FR. 05	Система должна обеспечивать измерение мощности отраженного/прошедшего СВЧ-сигнала в диапазоне частот 10...18000 МГц	SF. 01
FR. 06	Система должна представлять считанные данные в числовом формате	SF. 02
FR. 07	Система должна сохранять каждое измерение мощности в массив размером 100 значений	SF. 02
FR. 08	Система должна записывать данные в журнал в цифровом формате после каждого измерения	SF. 02
FR. 09	При переполнении массива система должна перезаписывать старые данные	SF. 02
FR. 10	Система должна позволять очищать массив измерений по команде пользователя	SF. 02
FR. 11	Система должна отображать график мощности в реальном времени	SF. 03

Далее можно перейти к разработке нефункциональных требований.

### 3.4. Нефункциональные требования

Нефункциональные требования подразделяются на следующие атрибуты качества [11]:

- Производительность (скорость работы системы при стандартной и максимальной нагрузке);
- Масштабируемость (способность системы корректно работать при увеличении числа пользователей и объёмов данных);
- Надёжность (стабильность и доступность системы, устойчивость к сбоям);
- Безопасность (шифрование данных, контроль доступа, защита от утечек);
- Удобство использования (понятный интерфейс, удобная навигация).

Сформулируем функциональные требования в виде таблицы с их идентификацией, описанием и трассировкой с функциями системы (Таблица 8):

Таблица 8. Нефункциональные требования

FR ID	Категория	Функциональные требования	Трассировка
NFR.01	Удобство использования	Система должна представлять считанные данные в числовом формате	SF. 01
NFR.02	Производительность	Система должна обеспечивать считывание данных с измерительного прибора с частотой не менее 1 Гц.	SF. 01
NFR.03	Удобство использования	Система должна позволять пользователю настраивать параметры измерительного прибора	SF. 01
NFR.04	Удобство использования	Система должна отображать массив считанных данных на лицевой панели ВИ	SF. 02

FR ID	Категория	Функциональные требования	Трассировка
NFR.05	Удобство использования	Система должна отображать график считанных данных на лицевой панели ВИ	SF. 03
NFR.06	Производительность	График должен обновляться с частотой не менее 1 FPS при активной записи	SF. 03

### 3.5. Логический уровень

В рамках системного подхода проектирование архитектуры осуществляется поэтапно, где каждый уровень решает строго определённые задачи. На этапе функционального анализа система рассматривается как "чёрный ящик" с акцентом на изучение её внешнего поведения и идентификацию всех значимых взаимодействий с акторами. Этот подход позволяет чётко определить границы системы и её интерфейсы с внешней средой без рассмотрения внутренней структуры [9].

При переходе к логической архитектуре происходит принципиальное изменение подхода - система перестаёт быть "чёрным ящиком" и начинает раскрывать свою внутреннюю организацию. На этом уровне проектирования идентифицируются логические компоненты системы, анализируются их свойства и взаимосвязи. Ключевым принципом данного этапа является строгое абстрагирование от любых технологических аспектов и вариантов физической реализации. Это позволяет сосредоточиться на концептуальной целостности системы и корректности её логической структуры.

Рассматривая систему в качестве «белого» ящика, выделим следующие подсистемы:

- Подсистема измерения мощности сигнала (по своей сути измерительное устройство)
- Подсистема обработки данных (по своей сути программное обеспечение, которое обрабатывает измеряемые данные – архивирует и визуализирует)

Таким образом, отнесём логическую функцию «Определение числового результата мощности» к подсистеме измерения мощности сигнала, а функции

«Запись данных в массив измерений» и «Визуализация массива измерений» к подсистеме обработки данных. Также добавим «логики» в подсистемы следующими функциями:

Получение сигнала о старте измерений (Передаёт величины, используемые для вычисления мощности);

Формирование команды на запись данных (Передаёт запрос на запись данных в следующую подсистему);

Получение сигнала об обработке измерительных данных (Передаёт команду на создание пустого массива);

Создание пустого массива (Передаёт статус, создан массив или нет).

Представим результат на диаграмме логической архитектуры (Рисунок 15), а также её фрагмент с самой системой крупно (Рисунок 16):

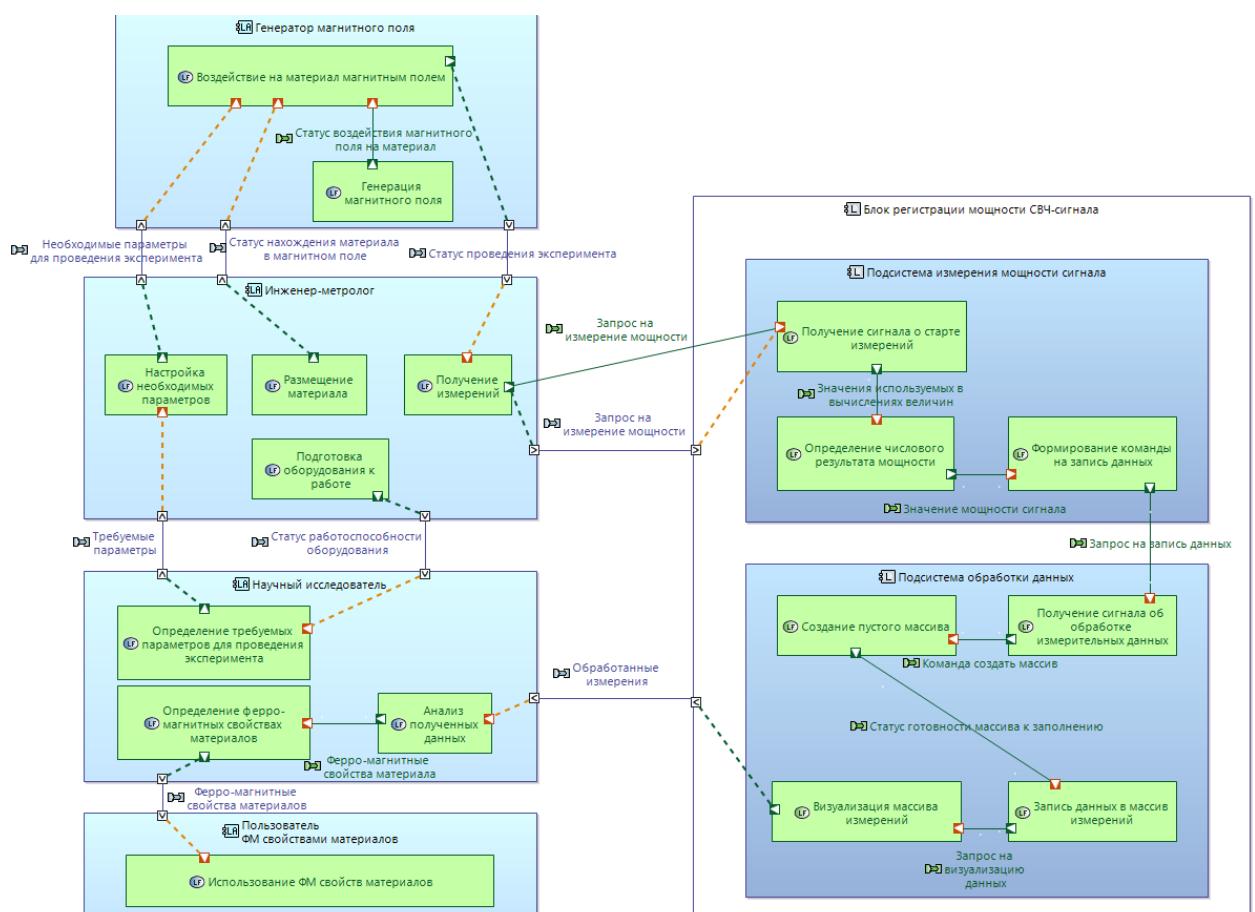


Рисунок 15. Логическая модель

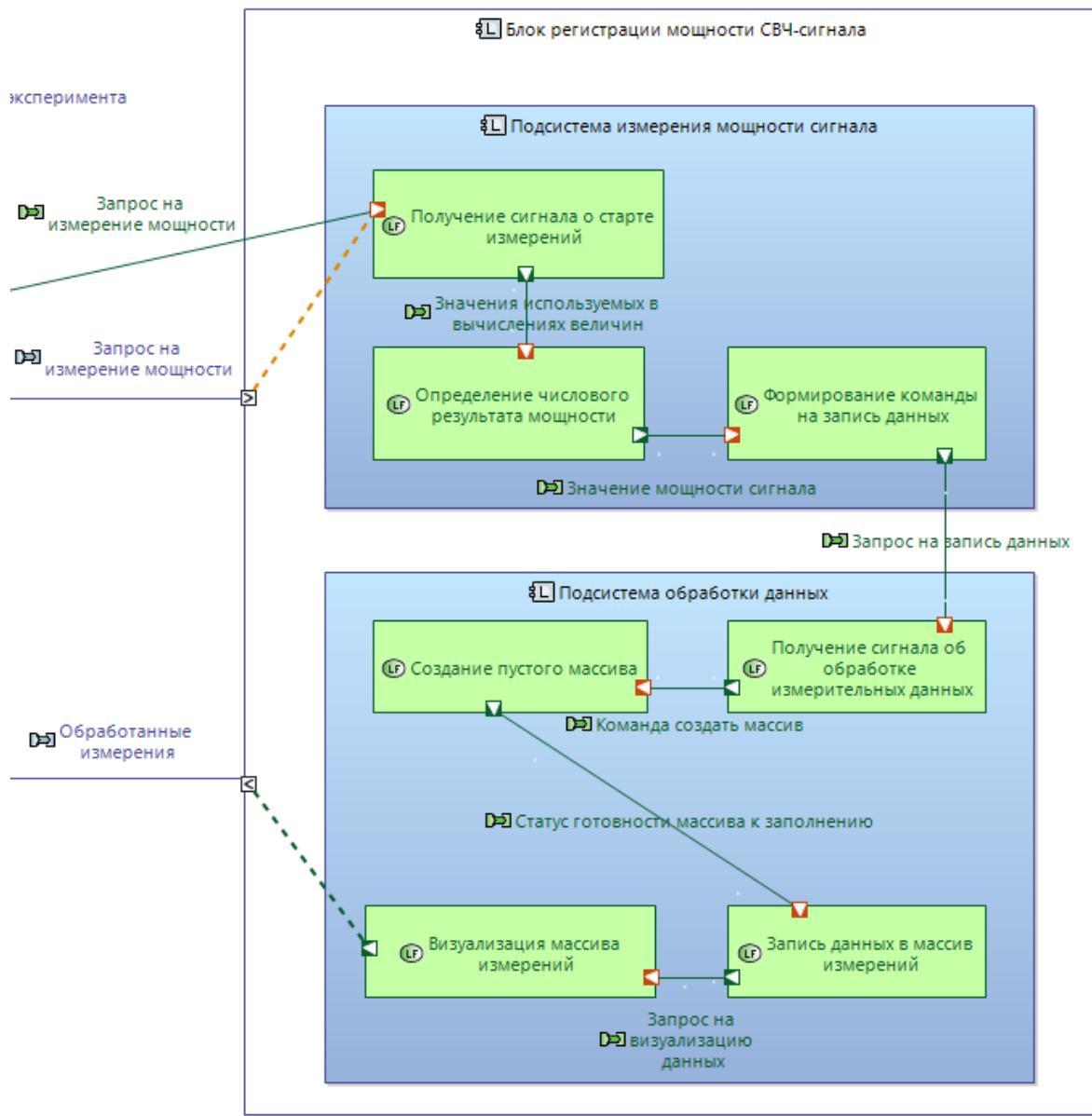


Рисунок 16. Логическая модель. Система как белый ящик крупно.

### 3.6. Логические компоненты

Таким образом, наша система представляет собой два логических элемента: подсистема измерения мощности сигнала и подсистема обработки данных. Отобразим их в таблице с идентификацией логических функций и компонентов, а также их названиями (Таблица 9):

Таблица 9. Логические компоненты системы

ID	Логический компонент	ID LF
LC.01	Подсистема измерения мощности сигнала	LF.1: Определение числового результата мощности LF.4: Получение сигнала о старте измерений LF.5: Формирование команды на запись данных
LC.02	Подсистема обработки данных	LF.2: Запись данных в массив измерений LF.3: Визуализация массива измерений LF.6: Получение сигнала об обработке измерительных данных LF.7: Создание пустого массива

Далее представим в виде таблиц требований к подсистемам с указанием идентификации, содержания требований и трассировки с логическими функциями (Таблица 10) и (Таблица 11).

Таблица 10. Требования к функциям подсистемы измерения мощности сигнала

ID	Требования к подсистеме измерения мощности сигнала	Связь с LF
LR.1	Подсистема должна принимать и обрабатывать запрос инженера-метролога на измерение мощности сигнала.	LF.1, LF. 4
LR.2	Подсистема должна отправлять запрос подсистеме обработки данных на запись данных в буфер.	LF.5

Таблица 11. Требования к функциям подсистемы обработки данных

ID	Требования к подсистеме обработки данных	Связь с LF
LR.1	Подсистема должна принимать и обрабатывать запрос подсистемы измерения мощности сигнала на запись данных в массив измерений	LF.2, LF.6
LR.2	Подсистема должна принимать команду на формирование массива для записи измерительных данных	LF.2, LF.7
LR.3	Подсистема должна записывать в массив измерительные данные	LF.2
LR.4	Подсистема должна отправлять и принимать запрос на визуализацию массива измерений	LF.3, LF.6
LR.5	Подсистема должна принимать и обрабатывать запрос научного исследователя на получение обработанных данных	LF.2, LF.3

### 3.7. Сценарии использования

Опишем сценарии пользования системой [11]:

## **Вариант использования 1:** Подготовка устройства к работе

Участники действия: Инженер-метролог

Основной сценарий:

2. Инженер-метролог проверяет целостность блока регистрации мощности;
3. Инженер-метролог подключает блок регистрации мощности к установке ФМР и компьютеру;
4. Инженер-метролог устанавливает методические параметры измерения: режим работы, частоту сигнала.

Альтернативный сценарий: если в ходе проверки целостности блока регистрации мощности были обнаружены неисправности

1. Инженер-метролог проверяет целостность блока регистрации мощности;
2. Инженер-метролог передаёт научному-исследователю о неисправности блока регистрации;
3. Инженер-метролог прекращает работу с установкой и блоком регистрации.

## **Вариант использования 2:** Подготовка устройства к проведению эксперимента

Участники действия: Инженер-метролог

Основной сценарий:

1. Инженер-метролог получает от научного исследователя необходимые для проведения эксперимента параметры установки ФМР, параметры блока регистрации;
2. Инженер-метролог отключает передачу данных научному исследователю о мощности СВЧ-сигнала;
3. Инженер-метролог отключает установку ФМР для генерации СВЧ-сигнала;
4. Инженер-метролог сверяет переданные параметры установки ФМР и блока регистрации с диапазонами допустимых значений;

5. Инженер-метролог устанавливает необходимые для проведения эксперимента параметры: режим работы, частоту сигнала;

Альтернативный сценарий: если в ходе проверки переданных параметров установки ФМР и блока регистрации они не входят в диапазон допустимых значений;

1. Инженер-метролог получает от научного исследователя необходимые для проведения эксперимента параметры установки ФМР, параметры блока регистрации;
2. Инженер-метролог отключает передачу данных научному исследователю о мощности СВЧ-сигнала;
3. Инженер-метролог отключает установку ФМР для генерации СВЧ-сигнала;
4. Инженер-метролог сверяет переданные параметры установки ФМР и блока регистрации с диапазонами допустимых значений;
5. Инженер-метролог сообщает научному исследователю о некорректности параметров для проведения эксперимента.

### **Вариант использования 3: Проведение измерений**

Участники действия: Инженер-метролог, блок регистрации

Основной сценарий:

1. Инженер-метролог запускает установку ФМР для генерации СВЧ-сигнала;
2. Инженер-метролог включает передачу данных о мощности СВЧ-сигнала научному исследователю;
3. Блок регистрации начинает регистрировать мощность СВЧ-сигнала в реальном времени;
4. Блок регистрации отображает данные о мощности СВЧ-сигнала на экране;
5. Блок регистрации передаёт данные о мощности СВЧ-сигнала на компьютер

### **Вариант использования 4: Калибровка параметров блока регистрации**

Участники действия: Научный исследователь

Основной сценарий:

1. Научный исследователь получает данные о мощности СВЧ-сигнала;
2. Научный исследователь анализирует полученные данные и принимает решение о калибровке параметров блока регистрации;
3. Научный исследователь передаёт необходимые корректировки инженеру-метрологу: режим работы, частоту сигнала.

Альтернативный сценарий: если в ходе анализа необходимых калибровок выявлено не было:

1. Научный исследователь получает данные о мощности СВЧ-сигнала;
2. Научный исследователь анализирует полученные данные и принимает решение о калибровке параметров блока регистрации;
3. Научный исследователь передаёт инженеру-метрологу команду о прекращении эксперимента

#### **Вариант использования 5: Отключение блока регистрации**

Участники действия: Инженер-метролог

Основной сценарий:

1. Инженер-метролог отключает передачу данных научному исследователю о мощности СВЧ-сигнала;
2. Инженер-метролог отключает установку ФМР для генерации СВЧ-сигнала;
3. Инженер-метролог устанавливает на установке ФМР параметры по умолчанию;
4. Инженер-метролог отключает блок регистрации мощности СВЧ-сигнала от компьютера и установки ФМР.

## **4. Реализация виртуального прибора для блока регистрации в LabView**

### **4.1. Описание блока МЗМ-18**

Измеритель мощности МЗМ-18 предназначен для измерения мощности непрерывных гармонических сигналов СВЧ. В качестве преобразующего элемента применена диодная детекторная секция, позволяющая проводить измерения в широких динамическом и частотном диапазонах [12].

Область применения измерителя мощности МЗМ-18 - производство и контроль ВЧ и СВЧ устройств и оборудования, исследование, настройка и испытания СВЧ узлов, используемых в радиоэлектронике, связи, приборостроении, измерительной технике.

#### **Основные возможности**

- измерение мощности непрерывно генерируемых СВЧ колебаний в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц;
- режимы абсолютного и относительного измерения мощности;
- отображение результатов в линейной и логарифмической шкалах;
- протоколирование результатов измерений в файл ПК;
- коррекция результатов измерений с учетом коэффициента передачи внешних устройств;
- функция звукового оповещения о выходе измеряемой величины за пределы заданного диапазона.

#### **Характерные особенности**

- диапазон рабочих частот от 10 МГц до 18 ГГц;
- портативное исполнение прибора;
- автономное питание от встроенного аккумулятора;
- наличие встроенного дисплея и клавиатуры;
- возможность удаленного управления с ПК;
- возможность использования прибора в лабораторных и полевых условиях.

Измеритель мощности МЗМ-18 выглядит следующим образом (Рисунок 17):



Рисунок 17. Измеритель мощности МЗМ-18

Технические характеристики блока представлены в виде таблицы (Таблица 12):

Таблица 12. Технические характеристики блока МЗМ-18

Параметр	Значение	
Диапазон рабочих частот, ГГц	10...18000	
Диапазон измерений мощности	Сертифицированное -40...+10 дБм 0,1 мкВт...10 мВт	Типичное -60...+20 дБм 1 нВт...100 мВт
Пределы допускаемой основной погрешности измерений	±20,0 % ±0,8 дБ	±10,0% ±0,4 дБ
KCBH входа от 10 МГц до 12 ГГц от 12 ГГц до 18 ГГц	1,4 1,5	1,2
Волновое сопротивление	50 Ом	
Продолжительность непрерывной работы аккумулятора	не менее 8 часов с подсветкой не менее 16 часов без подсветки	
Время заряда От зарядного устройства От USB порта	не более 3 часов не более 8 часов	
Условия эксплуатации температура окружающей среды относительная влажность воздуха атмосферное давление	+5° С...+40° С не более 90% при 30° С 537...800 мм рт. ст.	
Габаритные размеры (ДхШхВ)	177x48x32,5 мм	

Параметр	Значение
Масса	0,35 кг

## 4.2. Система команд [13]

«Общение» между прибором и ПК построено по принципу: «главный – подчинённый». Инициатором обмена данных может быть только главный, в данном случае ПО на ПК.

Команды, используемые для управления измерителем мощности, делятся на два типа:

- Установка / считывание параметров измерений;
- Считывание результатов измерений;

### Команды установки и считывания параметров измерений

Команды данного типа состоят из трёх байт. Первые два байта обозначают устанавливаемый параметр, третий - его значение. Для работы с командами данного типа достаточно трехбайтного буфера.

### Частотная коррекция

Формирование команды:

DataBuff[0] = 'F'; DataBuff[1] = 'R'; DataBuff[2] = X,

где X – номер частоты, их соотношение приведено далее (Таблица 13).

Таблица 13. Соотношение значения X и частоты коррекции в ГГц

0	0,1
1	0,5
2	1
3	1,5
4	2
5	2,5
...	
n	n/2
...	
33	16,5
34	17
35	17,5
36	18

### Степень усреднения

Формирование команды:

DataBuff[0] = ‘A’; DataBuff[1] = ‘V’; DataBuff[2] = X.

где X может быть равен: 1, 2, 4, 8 ,16, 32, 64, Авто (автоусреднение, соответствует 7).

### **Задание единиц измерений**

Формирование команды :

DataBuff[0] = ‘M’; DataBuff[1] = ‘G’; DataBuff[2] = X.

где X - число от 0 до 2:

0 - dB (относительное значение);

1 - dBm;

2 - W.

### **Задание коррекции ослабления**

Формирование команды :

DataBuff[0] = ‘A’; DataBuff[1] = ‘T’; DataBuff[2] = X,

где X – число от 0 до 99.

### **Управление подсветкой индикатора**

Формирование команды:

DataBuff[0] = ‘L’; DataBuff[1] = ‘I’; DataBuff[2] = X,

где X – включение подсветки 1, выключение 0.

### **Определение состояния измерителя**

Эта команда является единственной командой данного типа, на которую предусмотрен ответ. В ответе возвращается информация о частотной коррекции, компенсации ослабления, степени усреднения, единицах измерений. Длина ответа составляет 6 байт (2 байта зарезервированы).

Формирование команды :

DataBuff[0] = ‘S’; DataBuff[1] = ‘T’; DataBuff[2] = 0.

### **Сброс настроек по умолчанию**

Формирование команды:

DataBuff[0] = 255; DataBuff[1] = 255; DataBuff[2] = 255.

## **Считывание результата измерений**

Команда состоит из одного байта, равного нулю. В ответ на получение нуля прибор вернёт строку типа PChar. Длина строки не превышает десяти байт и зависит от единиц измерения, указанных в настройках прибора.

## **Параметры СОМ-порта**

Таблица 14. Параметры СОМ-порта

Параметры	Значение
Baud rate/Скорость передачи	19200
Data bit/Кол-во информационных бит	8
Stop bit/Кол-во стоповых бит	1
Parity/Наличие проверки на четность	None/Нет
Flow control/Управление потоком	None/Нет

## **4.3. Лицевая панель ВИ**

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) — это графическая среда разработки, используемая для создания систем автоматизации измерений, управления оборудованием и анализа данных [3]. В отличие от текстовых языков программирования, LabView использует визуальный подход, где программы строятся в виде блок-диаграмм, соединяющих функциональные узлы. LabView остается ключевым инструментом в инженерных и научных проектах, где требуется быстрая разработка и взаимодействие с аппаратурой.

Разработка ВИ с помощью LabView заключается в создании лицевой панели, содержащей пользовательский интерфейс для управления прибором, а также блок-диаграммы, состоящей из функций и структурных элементов, принимающих и обрабатывающих информацию.

Лицевая панель ВИ представлена на рисунках (Рисунок 18) и (Рисунок 19):

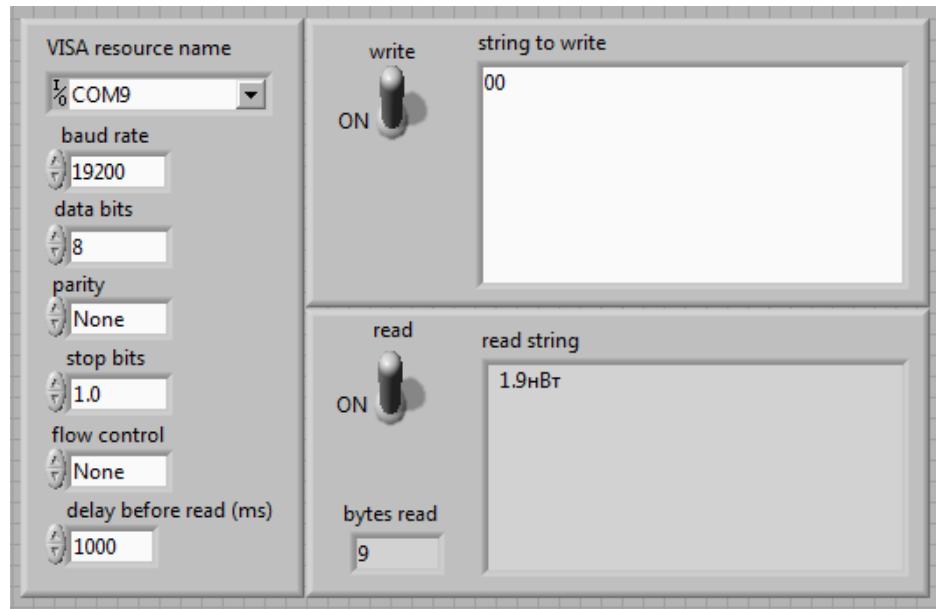


Рисунок 18. Лицевая панель ВИ. Часть 1.

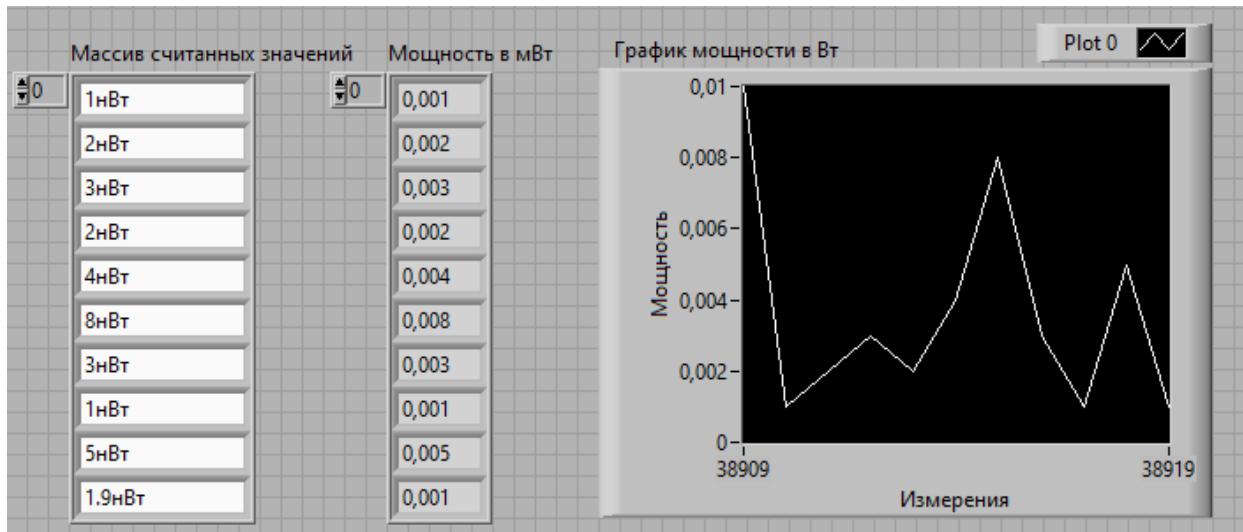


Рисунок 19. Лицевая панель ВИ. Часть 2.

На лицевой панели виртуального прибора LabView размещены следующие компоненты:

- Кнопки «Toggle Switch» или «Тумблер» для передачи булевых значений 0 и 1 или False и True для процессов записи данных в порт и чтения данных с порта;
- Декоративный элемент «Raised box» или «Выпуклая область» для визуального разделения лицевой панели на три части;
- Строки ввода «String Control» для записи команд в порт в шестнадцатеричной системе исчисления (На рисунке записана команда 00);

- Строки вывода «String Indicator» для отображения считываемой мощности сигнала в численном виде (На рисунке выведено значение равное 1.9 нВт), а также количества считанных с порта байт информации;
- Стока «VISA resource name» или «Имя ресурса» для идентификации ресурса, подлежащий открытию, записи и чтению из него. Обозначает порт (на рисунке отображено COM9), с которым взаимодействует виртуальный прибор;
- Шесть элементов численного ввода «Numeric Control» для настройки параметров считывания информации с блока регистрации мощности сигнала: «Baud rate» - Скорость передачи, «Data bits» - Количество битов данных, «Stop bits» - длительность бита завершения передачи сообщения, «Parity» - проверка на чётность, «Flow control» - управление потоком, «Delay before read (ms)» - задержка перед считыванием данных с порта;
- Два массива «Array» типа данных «строка» и «с плавающей точкой», которые отображают результаты считывания измерений с измерительного прибора и результат их преобразования в численный формат;
- График, построенный на массиве измерительных данных.

#### **4.4. Блок-диаграмма ВИ**

На блок-диаграмме виртуального прибора LabView размещены следующие компоненты (Рисунок 20) и (Рисунок 21):

- Виртуальный прибор «VISA Configure Serial Port VI», который инициализирует последовательный порт, указанный в имени ресурса VISA, в соответствии с указанными настройками;
- Функция «VISA Write Function», которая записывает данные из буфера записи на устройство или интерфейс, указанный в имени ресурса VISA;

- Функция «Wait (ms) Function», которая ожидает указанное количество миллисекунд, прежде чем перейти к следующему шагу программы;
- Функция «Property Node», который получает и устанавливает свойства ссылки, в данном случае записи байт данных в порт;
- Функция «VISA Read Function», которая считывает указанное количество байт с устройства или интерфейса, указанного в имени ресурса VISA, и возвращает данные в буфер чтения;
- Функция «Match Pattern», которая ищет по строке указанное значение и разделяет её на три составляющие: строку до найденного значения, само значение и строку после;
- Функция «Decimal String To Number», преобразующая данные типа «строка» в тип «число», считывая значение строки в десятичном формате;
- Математическая функция деления с константой «1000» для перевода данных из нВт в мВт;
- Два массива «Array» типа данных «строка» и «с плавающей точкой», которые отображают результаты считывания измерений с измерительного прибора и результат их преобразования в численный формат;
- График, построенный на массиве измерительных данных.
- Функция «Visa Close Function», которая закрывает сеанс устройства или объект события, указанный в имени ресурса VISA;
- Виртуальный прибор «Simple Error Handler VI», который указывает, произошла ли ошибка. Если произошла ошибка, этот виртуальный прибор возвращает описание ошибки и, при необходимости, отображает диалоговое окно.
- Несколько «Case Structure» выборочных структур, получающих на вход булевые значения False или True и в зависимости от этих значений выполняют определённую часть кода программы;

- Структура «Stacked Sequence Structure» последовательного выполнения части кода программы, которая позволяет гарантировать выполнение части кода, заключенной в структуру, до или после другой.

Виртуальный прибор функционирует следующим образом:

1. Виртуальный прибор для инициализации подключенного порта получает на вход установленные параметры «Baud rate» - Скорость передачи, «Data bits» - Количество битов данных, «Stop bits» - длительность бита завершения передачи сообщения, «Parity» - проверка на чётность, «Flow control» - управление потоком, «Delay before read (ms)» - задержка перед считыванием данных с порта, а также имя ресурса «VISA resource name» и значение «timeout»;
2. Если тумблер процесса записи данных в порт включён, то функция «VISA Write» получает данные инициализированного порта и строку, в которой записана команда. Если же тумблер выключен, то программа не выполняет функцию записи и следует далее по коду;
3. Программа проходит через структуру последовательного выполнения части кода, внутри которой, прежде чем следовать далее, ожидает время, указанное в функции таймера «Wait (ms) Function»;
4. Если тумблер процесса чтения данных с порта включён, то инструмент «Property Node» получает ссылку на используемый ресурс (СОМ-порт), а также передаёт количество байт данных, которое необходимо считать. Функция «VISA Read» получает информацию на вход, считывает «ответ блока регистрации» с порта вывода и записывает их в строку на лицевой панели. Если же тумблер выключен, то программа не выполняет функцию записи и следует далее по коду;
5. Считанное с порта значение преобразуется в число и с помощью математических вычислений преобразуется к значению в мВт. Это число записывается в массив измерительных данных и выводится на график;
6. Программа закрывает сеанс связи с портом с помощью функции «VISA Close». Если же произошла ошибка при инициализации, записи,

считывании или иных процессах выполнения кода программы, то виртуальный прибор «Simple Error Handler VI» выводит диалоговое окно, содержащее описание произошедшей ошибки;

7. Данная последовательность действий повторяется 100 раз.

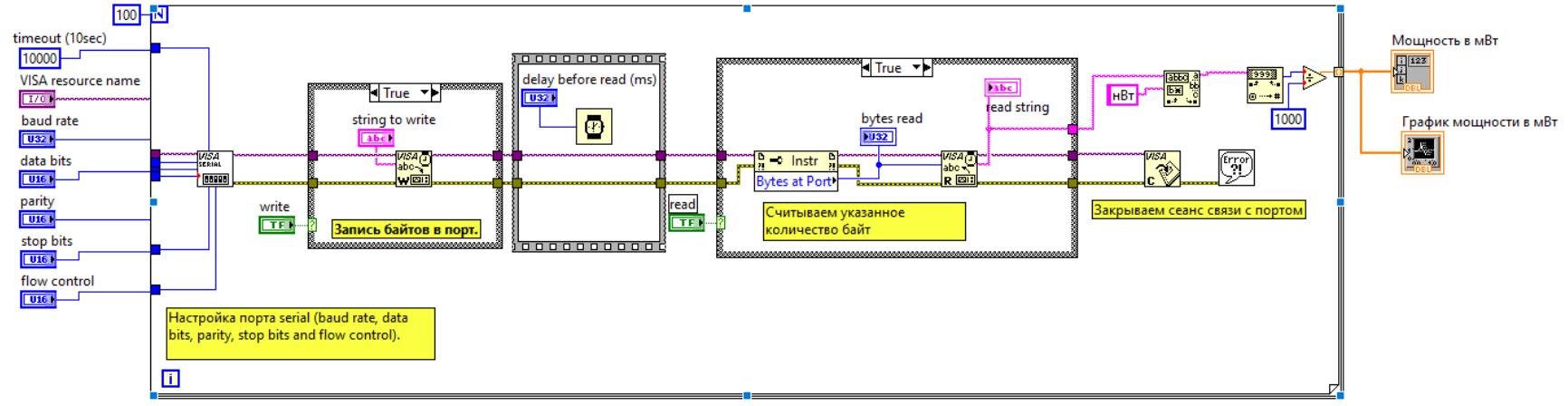


Рисунок 20. Блок-диаграмма ВИ. Часть True.

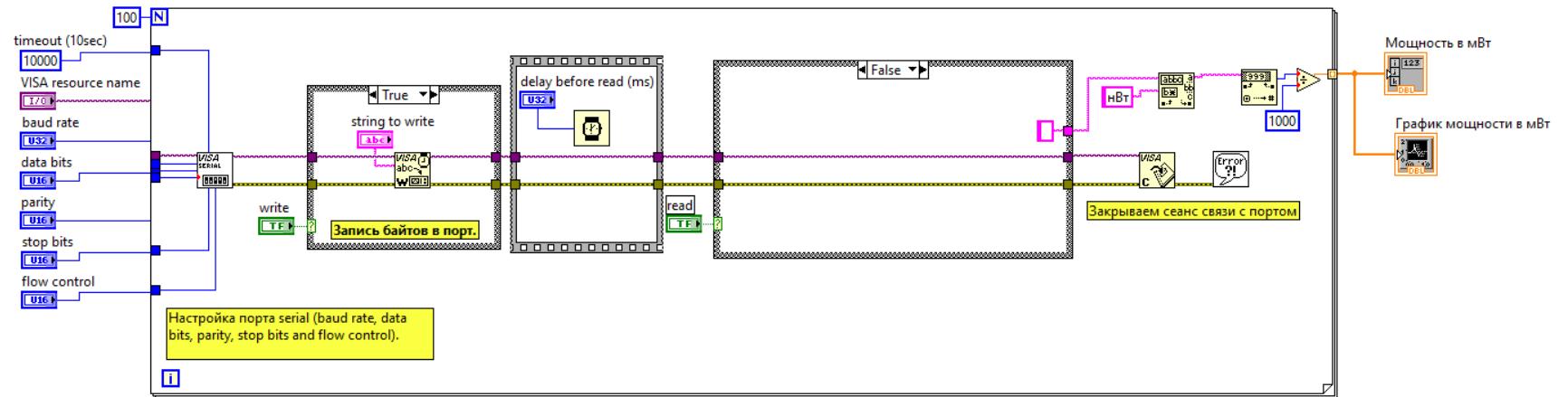


Рисунок 21. Блок-диаграмма ВИ. Часть False.

## **5. Экономическая часть**

### **5.1. Организация и планирование работ по теме.**

Организация работ осуществляется на базе календарного планирования, которое включает в себя:

- планирование содержания проекта и декомпозицию работ;
- определение последовательности работ;
- планирование сроков, длительностей и логических связей работ;
- построение диаграммы Ганта.

Лица, задействованные в написании работы:

1. Разработчик – студент КСБО-01-21 Маслехин Б.С.
2. Руководитель – доцент Климов А.А.
3. Консультант по экономической части – Бондалетова Н.Ф.

В таблице (Таблица 15) приведены этапы работы, исполнители, задействованные в разработке, их трудоёмкость и продолжительность работ в рамках этапа в рабочих днях.

Таблица 15. Этапы разработки

№	Название этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел/дни	Продолжительность работ, дни
1	Введение			5
1.1	Теоретическое введение	Руководитель	1	
		Разработчик	2	
1.2	Обоснование актуальности разработки	Руководитель	1	
		Разработчик	2	
1.3	Сравнительный анализ	Руководитель	1	
		Разработчик	1	
2	Требования к системе			10
2.1	Системный контекст	Руководитель	2	
		Разработчик	4	
2.2	Функциональные и нефункциональные требования	Разработчик	4	

2.3	Разработка сценариев использования	Разработчик	2	
3	Структура системы			46
3.1	Операционный анализ	Руководитель	3	
		Разработчик	8	
3.2	Моделирование структуры системы на уровне операционного анализа	Разработчик	8	
3.3	Моделирование структуры системы на уровне физического анализа	Разработчик	15	
3.4	Моделирование структуры системы на уровне логического анализа	Разработчик	15	
4	Программная реализация			16
4.1	Описание системы команд	Руководитель	1	
		Разработчик	3	
4.2	Разработка виртуального прибора в LabView	Руководитель	3	
		Разработчик	10	
4.3	Описание виртуального прибора в работе	Разработчик	3	
5	Экономический раздел			5
5.1	Организация и планирование работ по теме	Разработчик	3	
		Консультант	1	
5.2	Расчёт стоимости проведения работ	Разработчик	2	
		Консультант	1	
6	Приложения	Разработчик	5	5
7	Заключение	Разработчик	3	3
Итого				90

В таблице (Таблица 16) приведено планирование сроков, выполненное с учетом: шестидневной рабочей (учебной) недели руководителя ВКР, консультанта по экономической части и студента, выходных и праздничных дней.

Первым днём планирования является первый день 8-го семестра – 10 февраля 2025 года, последним возможным днём является последний день преддипломной практики – 21 мая 2025 года.

Таблица 16. Календарный план выполнения проекта

Этап	Дата начала	Дата окончания	Количество рабочих дней	Исполнители
<b>Введение</b>				
1.1 Теоретическое введение	10.02.2025	11.02.2025	2	Руководитель, разработчик
1.2 Обоснование актуальности разработки	12.02.2025	13.02.2025	2	Руководитель, разработчик
1.3 Сравнительный анализ	14.02.2025	14.02.2025	1	Руководитель, разработчик
<b>2. Требования к системе</b>				
2.1 Системный контекст	15.02.2025	18.02.2025	4	Руководитель, разработчик
2.2 Функциональные и нефункциональные требования	19.02.2025	22.02.2025	4	Разработчик
2.3 Разработка сценариев использования	25.02.2025	26.02.2025	2	Разработчик
<b>3. Структура системы</b>				
3.1 Операционный анализ	27.02.2025	07.03.2025	8	Руководитель, разработчик
3.2. Моделирование структуры системы на уровне операционного анализа	10.03.2025	18.03.2025	8	Разработчик
3.3. Моделирование структуры системы	19.03.2025	04.04.2025	15	Разработчик

на уровне физического анализа				
3.4. Моделирование структуры системы на уровне логического анализа	05.04.2025	22.04.2025	15	Разработчик
4. Программная реализация				
4.1 Описание системы команд	23.04.2025	24.04.2025	2	Руководитель, разработчик
4.2 Разработка виртуального прибора в LabView	25.04.2025	30.04.2025	5	Руководитель, разработчик
4.3 Описание виртуального прибора в работе	02.05.2025	03.05.2025	2	Разработчик
5. Экономический раздел				
5.1 Организация и планирование работ по теме	05.05.2025	10.05.2025	4	Разработчик, консультант
5.2 Расчёт стоимости проведения работ	12.05.2025	13.05.2025	2	Разработчик, консультант
6. Приложения				
6.1 Приложение	14.05.2025	16.05.2025	3	Разработчик
7. Заключение				
7.1 Заключение	17.05.2025	20.05.2025	3	Разработчик

Аналогичный результат представлен на рисунке (Рисунок 22), который содержит календарный график выполнения работ с учётом праздничных и выходных дней в рамках шестинедельной рабочей (учебной) недели.

Название	Расч. время, дн.	Дата От	Дата До
<b>ВКР</b>	99	10.02.2025	20.05.2025
1.1 Теоретическое введ...	9	10.02.2025	11.02.2025
1.2 Обоснование актуал...	18	12.02.2025	13.02.2025
1.3 Сравнительный ана...	9	14.02.2025	14.02.2025
2.1 Системный контекст	18	15.02.2025	18.02.2025
2.2 Функциональные и ...	27	19.02.2025	22.02.2025
2.3 Разработка сценари...	27	25.02.2025	26.02.2025
3.1 Операционный ана...	27	27.02.2025	07.03.2025
3.2. Моделирование стр...	18	10.03.2025	18.03.2025
3.3. Моделирование стр...	9	19.03.2025	04.04.2025
3.4. Моделирование стр...	1	05.04.2025	22.04.2025
4.1 Описание системы к...	14	23.04.2025	24.04.2025
4.2 Разработка виртуал...	5	25.04.2025	30.04.2025
4.3 Описание виртуаль...	4	02.05.2025	03.05.2025
5.1 Организация и план...	1	05.05.2025	10.05.2025
5.2 Расчёт стоимости п...	1	12.05.2025	13.05.2025
6.1 Приложение	1	14.05.2025	16.05.2025
7.1 Заключение	1	17.05.2025	20.05.2025

Рисунок 22. Календарный график выполнения работ

Календарный график исполнения проекта в соответствии с таблицей календарного плана (Таблица 16) представлен на рисунке (Рисунок 23) в виде диаграммы Ганта.

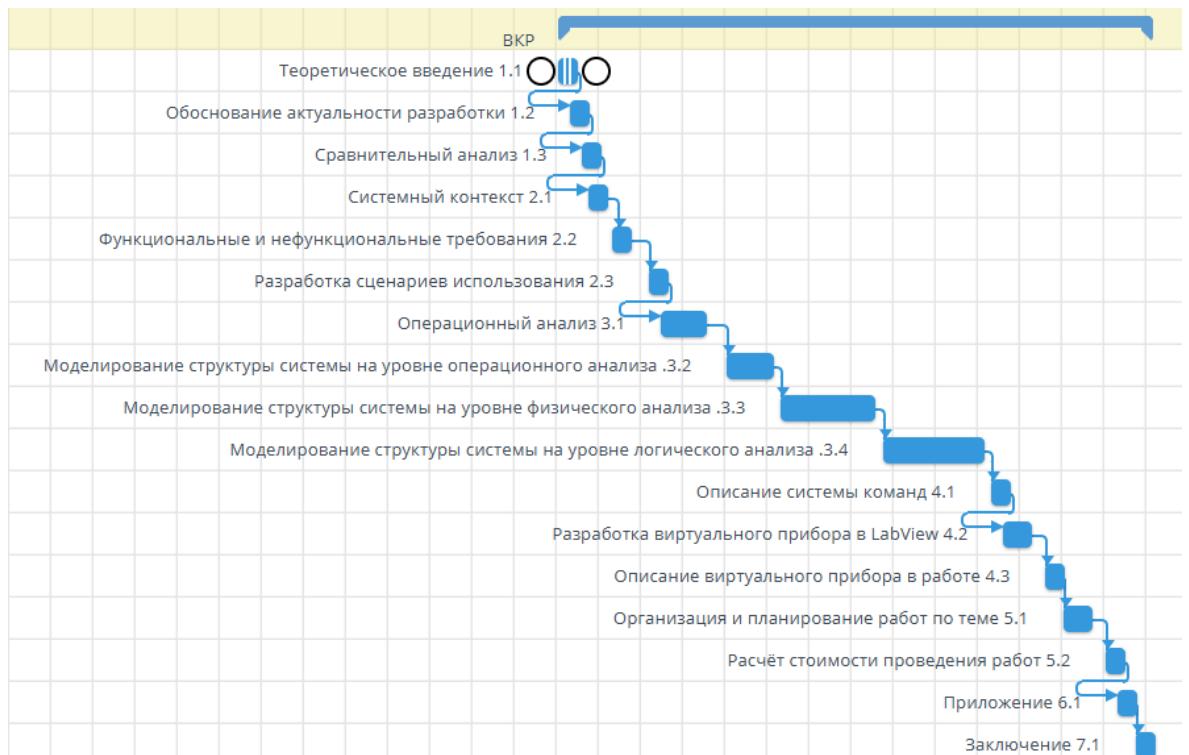


Рисунок 23. Диаграмма Ганта

## 5.2. Расчёт стоимости проведения работ.

Себестоимость работ разработки складывается из затрат по следующим статьям:

- Статья «Сырье и материалы» + ТЗР (15%) от  $\sum$  итого по материалам
- Статья «Основная заработная плата»
- Статья «Дополнительная заработная плата» 20-30% от основной заработной платы
- Статья «Страховые взносы» - 30% от ФОТ, а также 0,2% ставка за травматизм
- Статья «Амортизация»
- Статья «Прочие расходы»

В выпускной квалификационной работе объем затрат на НИР и ОКР (проектирования и/или разработки ИТ-решения) был проведен методом калькулирования.

### 1 статья «Сырье и материалы».

Затраты на сырье и материалы представлены в таблице (Таблица 17). К общей сумме так же добавляются транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 17. Стоимость материалов

№ пп	Наименование материалов	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу (руб)	Стоимость (руб)
1	2	3	4	5	6
1	Флешка 8Гб	шт	1	350	350
2	Бумага А4	пачка	1	200	200
3	Картридж для принтера	шт	1	3350	3350
4	Канцелярский набор	шт	1	300	300
Итого материалов					4 200,0
Транспортно-заготовительные расходы					588,0
Итого					4 788,0

Затраты на комплектующие и изготовление программно-аппаратного комплекса представлены в таблице (Таблица 18).

Таблица 18. Стоимость комплектующих

№ п/п	Наименование элемента	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу (руб.)	Стоимость (руб.)
1	Кабель USB A – USB B	шт	1	900	900,0
2	Блок регистрации М3М-18	шт	1	62 856	62 856
Итого комплектующих					63 756,0
Транспортно-заготовительные расходы					8 925,84
Итого:					72 681,84

Таким образом общая сумма затрат по статье «Сырье и материалы» составит 77 469,84 руб.

## 2 статья «Основная заработная плата»

Согласно Производственному календарю на 2025 год, годовой фонд рабочего времени при шестидневной рабочей неделе составит 299 рабочих дней.

Следовательно, дневная тарифная ставка (ТС) для месячного оклада (ОК) по каждому работнику может быть рассчитана по следующей формуле (1):

$$TC = \frac{OK \times 12}{HPB} = \frac{OK \times 12}{299} \text{ руб./д.} \quad (1)$$

где:

ОК — месячный оклад участника проекта;  
 12 — число месяцев в году;  
 HPB — годовой фонд рабочего времени при сорокачасовой рабочей неделе.

– Разработчик

ОК составляет 3000 рублей.

$$TC=3\ 000 \times 12 / 299 = 120 \text{ руб./д.}$$

– Руководитель

ОК составляет 161 230 рублей.

$$TC=161\ 230 \times 12 / 299 = 6\ 470 \text{ руб./д.}$$

– Консультант по экономический части

ОК составляет 159 969 рублей.

$$TC=159\ 969 \times 12 / 299 = 6\ 420 \text{ руб./д.}$$

В таблице (Таблица 19) указан расчёт основной заработной платы исполнителям работы за разработку.

Таблица 19. Расчет основной заработанной платы

№ пп	Наименование этапа	Исполнитель (должность)	Мес. оклад (руб)	Трудоемкость (чел/дни)	Оплата за день (руб)	Оплата за этап (руб)
1	Введение	Руководитель	161 230	3	6 470	19 410
		Разработчик	3 000	5	120	600
2	Требования к системе	Руководитель	161 230	2	6 470	12 940
		Разработчик	3 000	10	120	1200
3		Руководитель	161 230	3	6 470	19 410

	Структура системы	Разработчик	3 000	46	120	5 520
4	Программная реализация	Руководитель	161 230	4	6 470	25 880
		Разработчик	3 000	16	120	1 920
5	Экономический раздел	Консультант	159 969	2	6 420	12 840
		Разработчик	3 000	5	120	600
6	Приложение	Разработчик	3 000	5	120	600
7	Заключение	Разработчик	3 000	3	120	360
<b>Итого</b>						<b>101 280</b>

### **3 статья «Дополнительная заработка плата»**

В среднем расходы по данной статье составляют 20-30% от суммы основной заработной платы и вычисляется по формуле (2):

$$\text{ДЗП} = (20 \dots 30)\% \times \text{ОЗП} \quad (2)$$

Примем расходы на дополнительную заработную плату в размере 20%, тогда дополнительная заработка плата (ДЗП) по рассматриваемому проекту составит (3):

$$\text{ДЗП} = 0,2 \times 101 280 = 20 256,0 \text{ руб.} \quad (3)$$

В процессе определения сметы затрат вводится понятие «фонд оплаты труда», представляющий собой сумму основной (ОЗП) и дополнительной заработной платы (ДЗП). Фонд оплаты труда (ФОТ) используется при расчете взносов в социальный фонд и рассчитывается по формуле (4):

$$\text{ФОТ} = \text{ОЗП} + \text{ДЗП} \quad (4)$$

Для данного проекта фонд оплаты труда составит (5):

$$\text{ФОТ} = 101 280,0 + 20 256,0 = 121 536,0 \text{ руб.} \quad (5)$$

### **4 статья «Страховые взносы»**

В соответствии со статьей 425 НК РФ в 2025 году для лиц, которые производят выплаты и вознаграждения физическим лицам (за исключением плательщиков, для которых установлены пониженные тарифы страховых взносов), установлен Единый тариф страховых взносов 30 % по направлениям:

- обязательное пенсионное страхование (ОПС),
- обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством (ОСС),
- обязательное медицинское страхование (ОМС).

Также в расчёте необходимо учесть ставку взносов на травматизм, которая может составлять от 0,2% до 8,5%. Для РТУ МИРЭА данная ставка составляет 0,2%. Таким образом, страховые взносы вычисляются по формуле (6):

$$\text{Страховые взносы} = 30,2\% \times \Phi\text{OT}, \quad (6)$$

И составят (7):

$$\text{СВ} = 0,302 \times 121\ 536,0 = 36\ 703,872 \text{ руб.} \quad (7)$$

## 5 статья «Амортизация»

К амортизационным отчислениям во время разработки проекта будет относится сумма используемого во время разработки проекта оборудования к отношению времени использованного данного оборудования.

Амортизационные отчисления вычисляются по формуле (8):

$$A = \frac{C}{T} \quad (8)$$

где:

A - месячная сумма амортизационных отчислений,

С - первоначальная стоимость объекта,

Т – срок полезного использования в месяцах.

В таблице (Таблица 20) представлен пример расчетов амортизационных отчислений по использованному во время разработки проекта оборудованию.

Таблица 20. Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Первоначальная стоимость объекта, руб.	Срок полезного использования, мес.	Месячная сумма амортизационных отчислений	Период эксплуатации в месяцах	Сумма, руб.
Ноутбук	105 000	36	2916,67	3	8 750,01
Итого:					18 566,91

## 6 статья «Прочие расходы»

К прочим расходам прежде всего отнесены накладные расходы. Это расходы на содержание и ремонт зданий, сооружений, оборудования, инвентаря. Это затраты, сопутствующие основному производству, но не связанные с ним напрямую, не входящие в стоимость труда и материалов.

В рамках реализации проекта это могут быть расходы, связанные с эксплуатацией, содержанием, и арендой площадей, с оплатой консультационных, информационных и клиринговых услуг, а также с командировочными расходами.

Сумма данных расходов определяется процентом от суммы основной заработной платы (ОЗП) и на разных предприятиях, в зависимости от их структуры, технологического процесса и системы управления находится в широком диапазоне — от 100 до 130%. Таким образом, накладные расходы вычисляются по формуле (9):

$$HP = (100 \dots 130)\% \times OZP \quad (9)$$

Примем, что процент составляет 110%, тогда результат вычислений составит (10):

$$HP = 110\% \times 101\ 280,0 = 111\ 408,0 \text{ руб.} \quad (10)$$

Вычислим полную себестоимость работ и представим в виде таблицы со всеми статьями (Таблица 21):

Таблица 21. Полная себестоимость работ

№ пп	Номенклатура статей расходов	Затраты (руб.)	Доля затрат, %
1	2	3	4
1	Сырье и материалы	77 469,840	21,18
2	Основная заработка плата	101 280,000	27,70
3	Дополнительная заработка плата	20 256,000	5,54
4	Страховые взносы	36 703,872	10,04
5	Амортизация	18 566,910	5,08
6	Прочие расходы	111 408,000	30,47
Итого		365684,622	100,0

Для визуализации долевого состава статей затрат в общей себестоимости представим круговую диаграмму на рисунке (Рисунок 24).

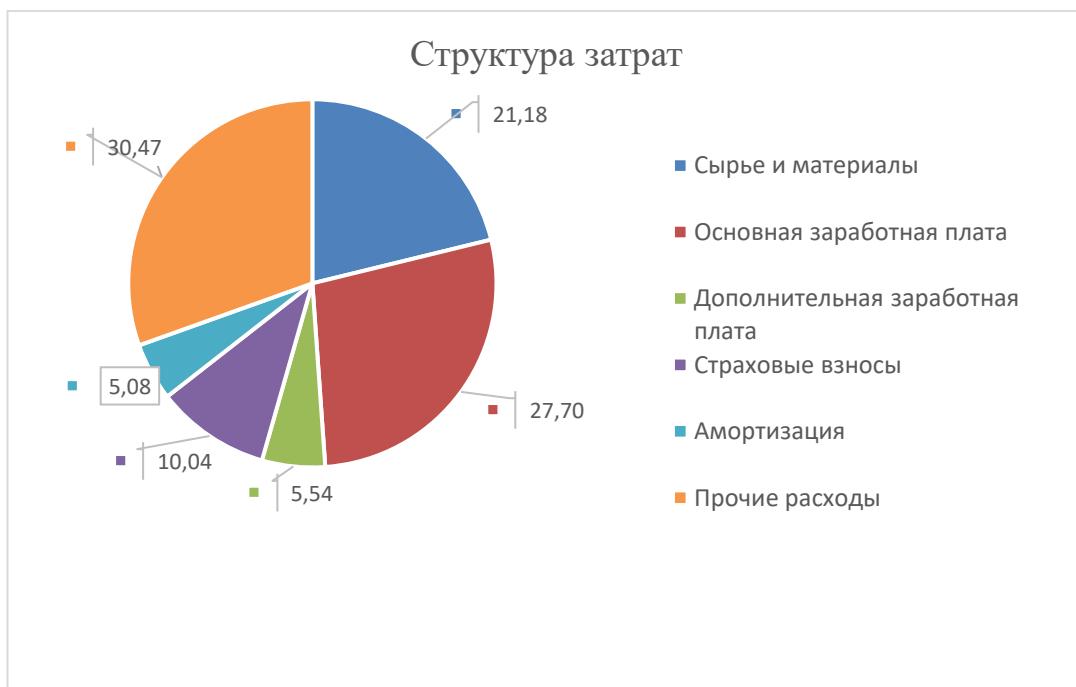


Рисунок 24. Структура затрат по работе

Если предполагается, что «продукт» в дальнейшем будет реализован, то необходимо рассчитать договорную цену, вычисляемую по формуле (11).

$$\begin{aligned} \text{Цена договорная (ЦД)} = & \text{Себестоимость}(c) + \\ & + \text{Прибыль}(\Pi) + \text{НДС} \end{aligned} \quad (11)$$

Норма прибыли составляет 10-30% от стоимости разработки.

Примем, что прибыль составляет 30%, тогда результат вычислений составит (12):

$$\text{Прибыль} = 365\ 684,62 \times 0,3 = 109\ 705,386 \quad (12)$$

Рассчитаем налог на добавленную стоимость (НДС) в размере 20% по формуле (13):

$$\text{НДС} = (C + \Pi) \times 20\% \quad (13)$$

Результат вычислений составит (14):

$$\text{НДС} = (365684,62 + 109\ 705,386) \times 20/100 = 95\ 078 \text{ руб.} \quad (14)$$

Таким образом, договорная цена будет представлять собой (15):

$$\begin{aligned} \text{ДЦ} = & C + \Pi + \text{НДС} = 365684,62 + \\ & + 109\ 705,386 + 95\ 078 = 570\ 168,85 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (15)$$

В рамках данного экономического раздела было выполнено планирование работ по теме, был проведен расчет стоимости затрат и определена договорная цена.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Создание универсального автоматизированного модуля регистрации данных приобретает особую значимость в контексте растущих потребностей в автоматизации измерительно-вычислительных процедур. Существующие архитектурные решения не обеспечивают оперативного и экономически выгодного подключения разнотипного измерительного оборудования в лабораторных условиях. Это касается как фундаментальных исследований, так и прикладных задач, включая изучение ферромагнитных характеристик материалов.

В дипломной работе была рассмотрена проблема традиционных методов ручного сбора и обработки измерительной информации, которые демонстрируют недостаточную эффективность. Решение этой проблемы заключается в предлагаемом решении автоматизации сбора и обработки измерительных данных.

Цель работы заключалась в разработке блока регистрации мощности отражённого / прошедшего СВЧ-сигнала в установке магнитно-резонансного спектрометра. Выполнить её позволило использование существующего измерителя мощности МЗМ-18 в совокупности с виртуальным прибором, разработанным в LabView.

Результатом исследований и проведённой работы стали формализованные требования ЗС к системе, а также функциональные и нефункциональные требования, работоспособный виртуальный прибор, позволяющий считывать данные с измерительного прибора и обрабатывать их, а также описание архитектуры на операционном, функциональном и логическом уровнях. Решение исключает ручные действия по сбору и передаче информации.

Предлагаемое в исследовании решение наглядно демонстрирует практическую ценность методов системной инженерии при реализации измерительных систем средней сложности. Реализованный подход

подтверждает возможность создания гибких и адаптируемых измерительных комплексов без существенных затрат на интеграцию.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. СИСТЕМАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200045267> (дата обращения: 14.04.2025)
2. Что такое s-параметр. URL: <https://www.scieo.by/измерение-s-параметров/> (дата обращения: 11.04.2025)
3. Описание инструмента LabView. URL: <https://www.ni.com/en/shop/labview.html> (дата обращения: 20.05.2025)
4. ГОСТ Р 8.818-2013. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293776/4293776064.pdf> (дата обращения 12.04.2025)
5. Ч. Сликтер. Основы теории магнитного резонанса. - 2-е изд. - Перевод Н.Н. Корста, Б.Н. Провоторова, А.П. Степанова, изд. "МИР", 1981 - 448 с.
6. Метод ARCADIA. Основные принципы. URL: <https://mbsecapella.org/arcadia.html> (дата обращения: 13.04.2025)
7. В. Ф. Антонов, Е. К. Козлова, А. М. Черныш. Физика и биофизика: учебник — 2-е изд., испр. и лоп. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. — 472 с.
8. Описание контекста системы. Язык графического моделирования для системной инженерии. URL: <https://www.omg.sysml.org/> (дата обращения: 16.04.2025)
9. Батоврин В.К. Моделирование архитектуры инженерных систем в среде Capella URL: <https://e.lanbook.com/book/226544?category=931&publisher=0> (дата обращения: 18.04.2025)
10. Королев А.С.: Инструментарий моделе-ориентированной системной инженерии. URL: <https://e.lanbook.com/book/167592> (дата обращения: 19.04.2025)

- 11.ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Requirements engineering. URL:  
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/72089/62bb2ea1ef8b4f33a80d984f826267c1/ISO-IEC-IEEE-29148-2018.pdf> (дата обращения: 21.04.2025)
- 12.Стоимость и технические характеристики блока М3М-18. URL:  
<https://www.pribor-service.ru/catalog/radioizmeritelnye-pribory/Antenny/m3m-18.htm> (дата обращения: 13.04.2025)
- 13.Система команд к блоку М3М-18 и документация. URL:  
<https://www.micran.ru/productions/IIS/kia/pm/m3m/> (дата обращения: 01.05.2025)